ISSN 1405-0471

Madera y Bosques

INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C.

PRIMAVERA
2011 17(1)
Xalapa, Ver.

MADERA y BOSQUES
Vol. 17 Núm. 1 **Primavera de 2011**

Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Red de Ambiente y Sustentabilidad. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación trimestral que aparece en primavera, en verano, en otoño y en invierno. Ocasionalmente se ofrecerá un número especial.

COMITÉ EDITORIAL

Editor, Raymundo Dávalos Sotelo

Dr. Patrick J. Pellicane
Dr. Martín A. Mendoza Briseño
Dr. Ariel Lugo
M.C. Freddy Rojas Rodríguez
Dr. Alejandro Velázquez Martínez
Dr. Juan José Jiménez Zacarías

Producción Editorial:
Aída Pozos Villanueva
Reyna Paula Zárate Morales

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Óscar Aguirre Calderón - Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

M. I. Miguel Cerón Cardeña - Universidad Autónoma de Yucatán. México.

M.C. Mario Fuentes Salinas - Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Dr. Rubén F. González Laredo - Instituto Tecnológico de Durango. México.

Dr. Raymond P. Guries - University of Wisconsin. EUA.

Dr. Lázaro R. Sánchez Velázquez - Universidad Veracruzana, México.

Dr. Amador Honorato Salazar - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

Dr. Ezequiel Montes Ruelas - Universidad de Guadalajara. México.

Dr. José Návar Cháidez - Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Dra. Carmen de la Paz Pérez Olvera - Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. México.

Dr. Hugo Ramírez Maldonado - Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Dra. María de los Ángeles Rechy de Von Roth - Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Dr. VÍctor L. Barradas Miranda - Instituto de Ecología, UNAM. México.

Madera y Bosques, Vol. 17 Núm. 1 de 2011. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2005-062018152600-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Carretera Antigua a Coatepec No. 351. El Haya. 91070 Xalapa, Ver., México. Imprenta: Editorial Cromocolor S.A. de C.V., Miravalles 703. Col. Portales 03300 México, D.F.
La suscripción anual para 2011 es de $450.00+$150.00 gastos de envío al interior de la República y $45.00 USD al extranjero. Precio por ejemplares sueltos $160.00 y $15.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan No. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax?55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. La reproducción total o parcial de los artículos podrá hacerse con el permiso expreso de los editores. Esta revista forma parte de los índices y portales de difusión ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Revistas Mexicanas de Investigación en Ciencia y Tecnología (IRMICyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex y Seriunam.

MADERA Y BOSQUES

Vol.17 Núm. 1 Primavera de 2011

CONTENIDO

Editorial ____ ***3***

Artículos de investigación

Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera
Artemio Carrillo-Parra, František Hapla, Carsten Mai y Fortunato Garza-Ocañas ____ ***7***

Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán
V.M Interián-Ku, M.A. Borja de la Rosa, J.I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares y H. Vaquera-Huerta ____ ***23***

Strength properties and natural durability of Avocado (*Persea americana* Mill.) branch wood
F.J. Fuentes-Talavera, J.A. Silva-Guzmán, R. Rodríguez-Anda, M.G. Lomelí-Ramírez, R. Sanjuán-Dueñas y H.G. Richter ____ ***37***

Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años
Silvia L. Rebottaro y Daniel A. Cabrelli ____ ***49***

Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México
Isidro Pérez-Hernández, Susana Ochoa-Gaona, Georgina Vargas-Simón, Manuel Mendoza-Carranza y Noel Antonio González-Valdivia ____ ***71***

Análisis de once poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental
Mario A. García Aranda, A. Eduardo Estrada-Castillón, Enrique Jurado-Ybarra y Dino U. González-Uribe ____ ***93***

Guía de autores

Nuestra portada: Árboles podados en plantaciones de aguacate.

Autor: Francisco Javier Fuentes Talavera. Departamento de Madera, Celulosa y Papel “Ing. Karl Augustin Grellmann", CUCEI Universidad de Guadalajara, México.

MADERA Y BOSQUES

Vol.17 Num. 1 Spring 2011

TABLE OF CONTENTS

Editorial ____ ***3***

Research papers

Durability of wood of *Prosopis laevigata* and the effect of its extractives on wood-decaying fungus
Artemio Carrillo-Parra, František Hapla, Carsten Mai y Fortunato Garza-Ocañas ____ ***7***

Anatomical characteristics and physical properties of wood of *Caesalpinia gaumeri* Greenm in Dzan, Yucatan
V.M Interián-Ku, M.A. Borja de la Rosa, J.I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares y H. Vaquera-Huerta ____ ***23***

Propiedades de resistencia y durabilidad natural de la madera de ramas de aguacate (*Persea americana* Mill.)
F.J. Fuentes-Talavera, J.A. Silva-Guzmán, R. Rodríguez-Anda, M.G. Lomelí-Ramírez, R. Sanjuán-Dueñas y H.G. Richter ____ ***37***

Pinus elliottii natural regeneration in forest gaps: seven years population dynamics
Silvia L. Rebottaro y Daniel A. Cabrelli ____ ***49***

Germination and survival of six native species in a tropical forest of Tabasco, México
Isidro Pérez-Hernández, Susana Ochoa-Gaona, Georgina Vargas-Simón, Manuel Mendoza-Carranza y Noel Antonio González-Valdivia ____ ***71***

Analysis of eleven natural populations of *Taxus globosa* in the Sierra Madre Oriental
Mario A. García Aranda, A. Eduardo Estrada-Castillón, Enrique Jurado-Ybarra y Dino U. González-Uribe ____ ***93***

Author´s guide

Our cover: Trees pruned in Avocado plantations.

Author: Francisco Javier Fuentes Talavera. Department of Wood, Cellulose and Paper “Ing. Karl Augustin Grellmann”, CUCEI University of Guadalajara, Mexico.

EDITORIAL

En esta época, el interés del público en temas ambientales parece haberse incrementado sensiblemente. En parte, esto se debe a la amplia difusión que estos temas reciben en los medios de comunicación masiva. También es justo reconocer que los sistemas educativos de muchas de las naciones del mundo han ido incorporando esta temática en sus curricula de una manera cada vez más profunda. Como una consecuencia benéfica de esta atención a temas del ambiente, las personas cada vez tratan de generar el menor daño ambiental posible, particularmente las responsables de grandes obras de ingeniería, para las que los requisitos ambientales se vuelven más estrictos con el paso del tiempo. Una actividad importante en ese sentido es la declaratoria de la Organización de la Naciones Unidas de considerar el año 2011 como "Año Internacional de los Bosques", actitud que ha sido secundada de manera firme y decidida por el Gobierno Federal Mexicano, que de manera simultánea con la declaratoria de la ONU, anunció una serie de medidas para promocionar esta posición. Por supuesto que aún queda mucho por hacer antes de asegurar que la conciencia ambiental es parte integral de la cultura humana. Una necesidad importante es contar con información sólida y útil acerca de los bosques y los bienes que se extraen de ellos. Los medios de difusión para el público en general y los orientados a la diseminación de la actividad científica tienen una gran responsabilidad en este ámbito. Con el afán de contribuir en alguna medida a esta importantísima tarea, los editores de esta revista estamos haciendo un esfuerzo por mantener vigente y actualizada la información presentada en *Madera y Bosques*. Para ello, contamos con el decidido apoyo de autores, revisores y en no menor medida, de los responsables de la formación editorial e impresión. Esperamos que este esfuerzo sea positivo para los lectores de la revista.

En este número contamos con tres trabajos sobre temas tecnológicos y tres más sobre asuntos del área forestal, es decir, se trata de un conjunto balanceado de trabajos de investigación. El primero trata de la durabilidad natural de la madera de *Prosopis laevigata* de cuatro sitios del Noreste de México. La durabilidad natural fue cuantificada como pérdida de masa y pérdida de módulo de elasticidad dinámico. Los resultados indican que *P. laevigata* es altamente resistente y puede ser clasificada según la Norma Europea 350-1 como clase 1 (muy durable). Un segundo artículo describe las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm de Dzan, Yucatán. Esta madera es una especie muy apreciada en la construcción de casas y postes para cercas en la región maya de Yucatán. En el presente trabajo se concluye que por las características anatómicas y las propiedades físicas de la madera, *C. gaumeri* se puede utilizar en la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías; sin embargo, su aprovechamiento para carpintería y trabajos finos está limitado por defectos como el grano entrecruzado y presencia de cristales. El tercer manuscrito contiene información sobre las propiedades de resistencia y durabilidad natural de la madera de ramas de aguacate (*Persea americana* Mill.). Se concluye que los árboles de aguacate producen una madera de rama de baja a mediana densidad con valores medios a bajos de flexión estática, compresión y tensión paralela a la fibra y valores medios de resistencia al cortante longitudinal, impacto y dureza. La madera se considera como no resistente al ataque de organismos y por lo tanto no es apta para aplicaciones en el exterior a menos que esté tratada. Teniendo en cuenta su perfil de propiedades y las pequeñas

dimensiones disponibles, la madera de aguacate se recomienda para carpintería general, muebles, decoración interior, placas encoladas para armarios y madera laminada para interiores.

En temas de índole forestal un artículo presenta información sobre la regeneración natural de *Pinus elliottii* (Engelm.) en claros silvícolas generados mediante una cosecha en fajas. Se probó el efecto de dos orientaciones, se cuantificó la densidad, el reclutamiento, la mortalidad y el crecimiento en diámetro y altura. La densidad fue suficiente para iniciar un ciclo productivo. El reclutamiento se concentró durante invierno-primavera, mientras que la mortalidad fue más frecuente en primavera-verano. Nueve años después de la apertura de los claros, el análisis de las plantas más grandes de cada población permitió establecer las diferencias entre los tratamientos de apertura. La dinámica poblacional mostró que la regeneración natural creciendo en claros, representa un recurso productivo alternativo para la zona de estudio.

El siguiente artículo se refiere a la germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. Los resultados indicaron que los diferentes tipos de cobertura vegetal no mostraron diferencias significativas en las tasas de germinación y de crecimiento; sin embargo, sí influyeron en la capacidad de germinación y en las tasas de depredación de algunas especies. En el acahual joven se presentó la mayor depredación de semillas. En el vivero no se encontró diferencia en la proporción de semillas germinadas, ni en las tasas de germinación y de crecimiento. Las condiciones ambientales de las diferentes clases de cobertura vegetal mantienen condiciones adecuadas para el proceso de germinación, crecimiento y establecimiento de plántulas de las especies estudiadas, lo cual permite sugerir su utilización en la rehabilitación de áreas degradadas del bosque original sembrando de manera directa, siempre y cuando se realice de manera inmediata después de la recolecta.

El último trabajo publicado trata del análisis de poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, México. La prueba de χ^2 indica que todas las poblaciones tienen una distribución normal. La cobertura y el diámetro mostraron valores altos de correlación. La tendencia de las curvas poblacionales indica que las poblaciones más aisladas de los centros de población o en sitios inaccesibles son las que poseen una proporción de individuos juveniles mayor que el resto de las poblaciones del noreste.

En los seis trabajos, se trata, como puede convencerse por sí mismo el lector, de información relevante y valiosa para manejar el recurso forestal de las regiones y especies estudiadas que, en este caso, abarcan dos importantes países de América Latina, que son Argentina y México.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

EDITORIAL

In the present time, the public interest in environmental issues seems to have increased significantly. This is due in part, to the wide dissemination of these issues in the mass media. It is also fair to say that the educational systems of many nations of the world have been incorporating this theme into their curricula in an ever deeper fashion. As a beneficial consequence of this attention to environmental issues, people are increasingly trying to generate the least possible environmental damage, particularly those responsible for major engineering works, for which environmental requirements become more stringent over time. An important activity in this regard is the declaration of the Organization of the United Nations to consider the year 2011 as "International Year of Forests", an attitude that has been seconded in a firm and decided way by the Mexican Federal Government, which simultaneously with the declaration of the UN, announced a series of measures to promote this position. Of course there is still a long way to go before ensuring that environmental awareness is an integral part of human culture. A major need is to have solid and useful information about forests and the goods that are extracted from them. The media for the general public and those aimed at the dissemination of scientific activity have a great responsibility in this area. In an effort to contribute in some measure to this important task, the editors of this magazine are making an effort to maintain current and updated the information in 'Madera y Bosques'. To do this, we have the strong support of authors, reviewers, and not least, the managers of the editorial formation and printing aspects. We hope this effort will be positive for readers of the Journal.

In this issue, we have three papers on technology issues and three issues of the forest area, i.e., it is a balanced set of research papers. The first is the natural durability of wood from *Prosopis laevigata* in four sites in northeastern Mexico. The natural durability was quantified as mass loss and loss of dynamic modulus. The results indicate that *P. laevigata* is highly resistant and can be classified according to EN 350-1 as a class 1 wood (very durable). A second article describes the anatomical and physical properties of the wood of *Caesalpinia gaumeri* Greenm from Dzan, Yucatán. This wood species is very popular in home building and fence construction in the Maya region of Yucatan. This paper concludes that because of the anatomical and physical properties of its wood, *C. gaumeri* can be used in the production of cross-ties, poles, staves and crafts, but its use for carpentry and fine work is limited by defects such as cross-linked grain and the presence of crystals. The third manuscript contains information about the properties of strength and durability of the wood of branches of avocado (*Persea americana* Mill). It was concluded that the avocado trees produce wood branch with low to medium density, low to medium values of static bending, compression and tension parallel to the fiber and average values of longitudinal shear, impact and hardness. The wood is considered not resistant to attack by organisms and therefore not suitable for outdoor applications, unless treated. Considering its property profile and small size available, avocado wood is recommended for general carpentry, furniture, interior decoration, glue boards and plywood cabinet for indoor use.

On issues of forestry, an article presents information on the natural regeneration of *Pinus elliottii* (Engelm.) in silvicultural gaps generated by clear-cutting. They tested the effect of two orientations, the density was quantified, as well as recruitment, mortality and

growth in diameter and height. The density was sufficient to start a production cycle. Recruitment is concentrated during winter and spring, while mortality was more frequent in spring and summer. Nine years after the opening of the canopy, the analysis of the largest plants of each population allowed the authors to establish the differences between the treatments of openness. The population dynamics showed that natural regeneration growing in canopy openings represents an alternative productive use for the study area.

The following article refers to the germination and survival of six native species from a tropical forest of Tabasco, Mexico. The results indicated that different types of vegetation showed no significant differences in rates of germination and growth, but they had an effect on the capacity of germination and predation rates of some species. The young fallows had the highest seed depredation. In the tree nursery there was no difference in the proportion of germinated seeds and germination rates and growth. The environmental conditions of different types of vegetation proved to be suitable conditions to maintain the process of germination, seedling growth and establishment of the species studied, which allows the authors to suggest its use in rehabilitation of degraded areas of the original forest planting directly, as long as it is done immediately after harvest.

The final published work is the analysis of natural populations of *Taxus globosa* in the Sierra Madre Oriental in the states of Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico. The χ^2 test indicates that all populations have a normal distribution. The coverage and the diameter showed high correlation values. The population trend of the curves indicates that more isolated populations or those in inaccessible places are the ones with a greater proportion of juveniles than other populations in the Northeast.

In the six studies, it is shown, as the reader can convince him/herself, relevant and valuable information for managing the forest resources of regions and species studied, which in this case involve two major countries in Latin America which are Argentina and Mexico.

Raymundo Dávalos Sotelo
Editor

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera

Durability of wood of *Prosopis laevigata* and the effect of its extractives on wood-decaying fungus

Artemio Carrillo-Parra[1], František Hapla[2], Carsten Mai[2] y Fortunato Garza-Ocañas[1]

RESUMEN

Se determinó la durabilidad natural de la madera de *Prosopis laevigata* de cuatro sitios del Noreste de México mediante *a)* microcosmos terrestres (Pre-norma Europea 807) en un suelo tipo vertisol durante 32 semanas y *b)* en condiciones de laboratorio (Norma Europea 113 modificada) al exponer la madera a los hongos *Coniophora puteana, Irpex lacteus, Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* durante 16 semanas. La durabilidad natural fue cuantificada como pérdida de masa y pérdida de módulo de elasticidad dinámico (MOE_{din}). Adicionalmente, se determinó el efecto en el crecimiento de los hongos *C. puteana* y *T. versicolor* producido por los extractos de la madera de *P. laevigata* obtenidos por agua caliente, etanol y acetona en concentraciones de 100 partes por millón (ppm), 1 000 ppm, 5 000 ppm y 10 000 ppm. Los resultados indican que *P. laevigata* es altamente resistente en el microcosmos terrestre, con pérdidas en masa de (9 ± 2)% a (17 ± 5)% y MOE_{din} de (20 ± 4)% a (39 ± 11)%. En el segundo método, la pérdida en masa producida por los cuatro hongos fue de (0,7 ± 0,5)% a (2,6 ± 3,2)% y clasificada según la Norma Europea 350-1 como clase 1 (muy durable). La pérdida del MOE_{din} fue de (3,8 ± 4,2)% a (19,9 ± 5,6)%. Los extractos de *P. laevigata* obtenidos con agua caliente en concentración de 10 000 ppm mostraron el mayor porcentaje de inhibición al reducir el crecimiento de *C. puteana* (83 ± 8)% y (93 ± 6)% para *T. versicolor*.

PALABRAS CLAVE:
Durabilidad natural, extractos, *Prosopis laevigata*, pudrición.

ABSTRACT

The natural durability of mezquite wood (*Prosopis laevigata*) from four localities in Northeast Mexico was determined using two test, *a)* terrestrial microcosm (European pre-norm 807) during 32 weeks on a non sterilized vertisol soil and, *b)* laboratory conditions according to the modify European Norm 113, the wood was exposed by 16 weeks to Basidiomycetes *Trametes versicolor, Coniophora puteana, Irpex lacteus* and *Pleurotus ostreatus*. The natural durability of two methods were determined by mass loss and by the dynamic modulus of elasticity loss (MOE_{dyn}). Additionally the inhibition effect of wood extracts obtained from wood sawdust in either hot water, ethanol or acetone at 100 parts per million (ppm), 1 000 ppm, 5 000 ppm and 10 000 ppm on growth of *C. puteana* and *T. versicolor* was also determined. The results showed that *P. laevigata* wood from the four sites is similar and very resistant to soil contact; the mass lost was ranging from (9 ± 2)% to (17 ± 5)%. The MOE_{din} lost of *P.*

1 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carr. Nal. Km. 145 C.P. 67700. Linares, Nuevo León, México. C.e.: arte_carr@hotmail.com

2 Wood Biology and Wood Products Section, Burckhardt Institute of the Georg-August-University. Büsgenweg 4 D-37077 Goettingen, Germany.

laevigata was ranging from (20 ± 4)% to (39 ± 11)%, the control species showed values of (91 ± 13)% and (62 ± 15)% respectively. The second method (modify european norm 113) showed mass loss of *P. laevigata* for the four localities and the four fungi ranging from (0,7 ± 0,5)% to (2,6 ± 3,2)%, placed this species as a class 1 (*i.e.* very durable) according to the European Norm 350-1. The MOE_{dyn} losses was from (3,8 ± 4,2)% to (19,9 ± 5,6)%. The hot water extracts at 1 0000 ppm concentration inhibited growth of *C. puteana* and *T. versicolor* by (83 ± 8)% and (93 ± 6)% respectively.

KEY WORDS:
Natural durability, extractives, *Prosopis laevigata*, decay.

INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* comprende alrededor de 44 especies y se encuentra ampliamente distribuido en zonas áridas y semiáridas del mundo en condiciones de suelo pobre (Burkart, 1976; Alden, 1995; Juárez *et al.*, 2002). Se localizan en África, Asia y América (Pasiecznik *et al.*, 2001). En Norteamérica existe el complejo denominado México-Texano donde se desarrollan diez especies en forma natural; Sudamérica, principalmente en Argentina y en los países vecinos, se considera el centro de dispersión del continente Americano del género *Prosopis* (Burkart, 1976; INE, 1994).

La madera de *Prosopis* se utiliza principalmente para la producción de carbón, por su alta densidad y la forma irregular en que se desarrollan los fustes. En menor escala se utiliza para la producción de muebles, mangos para herramientas y duelas (Pasiecznik *et al.*, 2001).

En estudios de durabilidad natural, se ha clasificado la madera de algunas especies de *Prosopis* como durables (Wolf y Perales, 1985). Durabilidad natural de la madera es entendida como la resistencia que presentan algunas especies contra el deterioro ambiental que se puede manifestar como pudrición (Balaban *et al.*, 2003). La durabilidad, el color, el olor, la permeabilidad y la reducción en contracción e hinchamiento de cada especie maderera, se atribuye a la presencia de los extractos (Hillis, 1968; Hillis, 1987; Reyes-Chilpa *et al.*, 1998; Aloui *et al.*, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2006). Los extractos son compuestos químicos que constituyen de 2% a 10% del peso seco en especies de clima templado y hasta 20% en maderas de clima tropical (Fengel y Wegener, 1989; Mantanis *et al.*, 1995) y pueden inducir la durabilidad en la madera.

La madera de especies como *Tectona grandis*, *Chamaecyparis nootkatensis*, *Thuja plicata*, presentan una alta resistencia al deterioro causado por insectos y hongos; debido a la presencia de compuestos químicos como las tectoquinonas y quinonas (Haupt *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2006; Thulasidas y Bhat, 2007).

El uso de *P. laevigata* se puede ampliar si se analiza detalladamente su durabilidad natural, característica que ha sido poco estudiada (Donoso *et al.*, 1984; Rodríguez y Maldonado, 1996; Ríos *et al.*, 2001; Géardin *et al.*, 2004). Esto posibilitaría su uso en condiciones a la intemperie como recubrimientos de pisos, ventanas y muebles de jardín donde se requiere alta durabilidad (Folliott y Thames, 1983; INE, 1994; Meraz *et al.*, 1998; Giménez *et al.*, 2000).

Por lo tanto, determinar la durabilidad natural de la madera de *P. laevigata*, la eficiencia de sus extractos en inhibir el crecimiento de hongos degradadores de la madera, identificar y finalmente utilizar los compuestos químicos que producen esta resistencia en maderas con baja resistencia, son líneas de investigación que incrementarían la utilización de esta especie.

OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación son: 1) determinar y clasificar la durabilidad natural de la madera de *P. laevigata* proveniente de cuatro sitios al ser expuesta a microcosmos terrestres y en laboratorio a los hongos *C. puteana*, *I. lacteus*, *P. ostreatus* y *T. versicolor*, 2) establecer, en condiciones de laboratorio, el efecto de los extractos de la madera de *P. laevigata* en el crecimiento de los hongos *C. puteana* y *T. versicolor*, degradadores de la madera.

METODOLOGÍA

La durabilidad natural de la madera de *P. laevigata* fue determinada con probetas provenientes de 12 árboles extraídos en el estado de Nuevo León, de los sitios Rancho Saltilleros municipio de China, Rancho San Lorenzo, municipio de General Terán, Ejido La Reforma, municipio de Linares y Ejido Santa Gertrudis, municipio de Dr. Arroyo. De cada sitio se obtuvo información relacionada con las condiciones ambientales, incluyendo temperatura, precipitación y localización geográfica (Tabla 1). En forma adicional y para cumplir con los requisitos de las normas empleadas, se usaron probetas testigo de la madera de albura de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica*.

Durabilidad natural de la madera en microcosmos terrestre (Pre-norma Europea 807)

La durabilidad en microcosmos terrestre se determinó siguiendo la Pre-norma Europea 807 (ENV 807, 2001). El procedimiento consistió en seleccionar de cada sitio 20 probetas con dimensiones de 100 mm x 10 mm x 5 mm en dirección longitudinal, radial y tangencial, respectivamente, de madera de *P. laevigata*; además, se utilizaron 20 probetas de madera de *P. sylvestris* y 20 de *F. sylvatica* las cuales sirvieron como especies testigo. Las 120 probetas fueron colocadas al azar en dos recipientes de plástico (32 cm x 40 cm x 22 cm) conteniendo microcosmos terrestre. Cada probeta se colocó a 2 cm de distancia y se enterraron 8 cm. El suelo se mantuvo a un contenido de humedad en un rango de 20% a 60% de su máxima capacidad de campo

Tabla 1. Localización geográfica, temperatura y precipitación de los sitios donde se extrajeron los árboles para la elaboración de las probetas de madera de *P. laevigata*.

Descripción	China	General Terán	Linares	Dr. Arroyo
Localidad	Rancho Saltilleros	Rancho San Lorenzo	Ejido La Reforma	Ejido Santa Gertrudis
Latitud	25° 24'23"	25° 20'18"	24° 42'05"	23° 54'48"
Longitud	99°10'22"'	99°31'00"	99°32'05"	100°10'14"
Temperatura °C *	22 – 24	22 – 24	20 – 22	16 – 20
Precipitación (mm)*	512	631	759	300 - 600

* Fuente: INEGI (2000)

durante 32 semanas. La durabilidad natural se cuantificó como el grado de deterioro de la madera mediante la pérdida de masa y la pérdida del módulo de elasticidad dinámico MOE_{din}, los procedimientos se detallan a continuación:

Pérdida de masa

Este procedimiento consistió en determinar la reducción de masa de las probetas de madera expuestas a microcosmos terrestres, al obtener la diferencia en porciento de la masa de madera en condición seca al inicio del experimento y la masa encontrada después de 32 semanas. La pérdida de masa fue determinada mediante la siguiente fórmula:

$$P{\cdot}M = \frac{M_i - M_f}{M_i}$$

Donde:

$P.M$ = Pérdida de masa (%)
M_i = masa anhidra de la probeta al inicio del ensayo (g)
M_f = masa anhidra de la probeta al final del ensayo (g)

Pérdida de MOE_{din}

Este procedimiento fue establecido por Machek *et al.* (2001), tiene la ventaja de no ser destructivo y no requiere de instalar algún equipo (Hearmon, 1966; Machek *et al.*, 1998; Machek *et al.*, 2001). Se utiliza para cuantificar la pudrición en probetas de madera, debido a que la pérdida del MOE_{din} es mucho más sensible que otras pruebas y presenta valores altamente significativos, incluso en etapas iniciales de deterioro cuando la pérdida de masa es aún baja.

El MOE_{din} se calculó en probetas a punto de saturación de la fibra, mediante la inducción de vibraciones producidas por el golpe de un pequeño martillo en el punto medio de la probeta. La señal se registró con un transductor colocado a un extremo de la probeta a una distancia de 0,224 veces su longitud, el cual captura las frecuencias y las envía hacia el equipo GrindoSonic (Lemmers, Belgium) que muestra los valores de frecuencia en kHz. Los valores fueron registrados al inicio del ensayo, y posteriormente en las semanas 8, 16, 24 y 32. La información obtenida fue utilizada en las siguientes fórmulas para determinar el MOE_{din}:

$$MOE_{din} = \frac{4 \bullet \pi^2 \bullet l^4 \bullet f^2 \bullet \rho \bullet \mathrm{A}}{m_1^4 \bullet I} \bullet \left(1 + \frac{I}{l^2 \bullet A} \bullet K_1\right)$$

$$I = \frac{b \bullet a^2}{12}$$

Donde:

MOE_{din} = Módulo de elasticidad dinámico (N/mm^2)
I = Momento de inercia (mm^4)
A = Área de sección transversal (mm^2)
f = Frecuencia (kHz)
rho = Densidad (g/mm^3)
l = Longitud de la probeta (mm)
K_1 = Constante (49,48)
m_1 = Constante (4,72)
a = grosor de la probeta (mm)
b = ancho de la probeta (mm)

Durabilidad de la madera de *P. laevigata* contra Basidiomycetes

La durabilidad natural de la madera de *P. laevigata* con respecto a la pudrición ocasionada por los hongos *C. puteana, I. lacteus, P. ostreatus* y *T. versicolor*, se determinó de acuerdo con la Norma Europea 113 modificada (EN 113, 1996). La modificación consistió en cambiar el

tamaño de las probetas a 100 mm x 10 mm x 5 mm en dirección longitudinal, radial y tangencial respectivamente. Los porcentajes de pérdida de masa y la pérdida del MOE_{din} fueron utilizadas como indicadores de la durabilidad.

Para determinar la pérdida de masa y la pérdida del MOE_{din} producida por cada hongo en la madera de *P. laevigata* se utilizaron 9 probetas de *P. laevigata* por sitio; es decir, se utilizaron un total de 36 probetas de esta especie; como especie testigo se utilizaron 12 probetas de *F. sylvatica* y para conocer el grado de colonización o virulencia de cada hongo se seleccionaron 24 probetas de *F. sylvatica.* El efecto de lixiviación, que es el arrastre de compuestos producido en la madera por la humedad ambiental, se midió al colocar 12 probetas de la madera de *P. laevigata* de cada sitio y 12 probetas de *F. sylvatica* en el medio de cultivo.

La totalidad de las probetas se esterilizó en una autoclave (Tuttnauer Systec Tipo 5075 ELVC, Wettenberg, Alemania) durante 20 minutos, a una temperatura de 121 °C. Las probetas se colocaron en frascos de cultivo con 50 ml de malta-agar solidificado; posteriormente, en cada frasco se colocó un inóculo de 1 cm del hongo y ocho probetas de madera. De las ocho probetas de cada frasco, seis correspondían a *P. laevigata*, las cuales fueron seleccionadas al azar de los cuatro sitios y dos probetas de *F. sylvatica.* Los frascos con las muestras se incubaron en un cuarto de cultivo con ambiente controlado, por un periodo de 16 semanas, a una temperatura de 20 ± 2 °C y una humedad relativa (HR) de 65 ± 5%.

Al término del ensayo, se midió la pérdida de masa y la pérdida de MOE_{din} de las probetas con el equipo Grindo-Sonic (Lemmers, Belgium). Los valores obtenidos se ajustaron al restar la pérdida en masa que se ocasionó por el efecto de lixiviación de los compuestos de la madera y que no se le puede atribuir a la degradación del hongo.

Inhibición en el crecimiento de los hongos provocado por los extractos de la madera

Para determinar el efecto inhibitorio en el crecimiento de los hongos degradadores de la madera *C. puteana* y *T. versicolor* provocado por los extractos de la madera de *P. laevigata*, se sometió el aserrín de *P. laevigata* a la extracción en aparatos Soxhlet, en una estufa de aceite, a una temperatura de 135 °C, se utilizaron como solventes extractivos agua caliente, etanol y acetona. La extracción se realizó al completar 24 ciclos en un periodo de seis horas; posteriormente, el solvente se eliminó con un evaporador de vacío (Rotavapor Tipo R-114 Büchi, Essen, Alemania) a una temperatura de 40 °C.

Una vez obtenidos los extractivos, se diluyeron en acetona a concentraciones de 100 ppm, 1 000 ppm, 5 000 ppm y 10 000 ppm para facilitar la disolución y homogeneizar las condiciones en el manejo de todos los extractos. La mezcla se agitó con un mezclador Heidolph Tipo Mr 3003 (Heidolph Elektro GmbH, Kelheim, Alemania) por 10 minutos antes de ser colocados en el medio de cultivo. Para preparar el medio de cultivo se utilizaron 20 ml de malta-agar en cajas Petri de 90 mm de diámetro.

Al solidificarse la mezcla de acetona con los solventes y el extracto de malta-agar, se aplicó el inóculo con un sacabocado de 10 mm de diámetro proveniente de los márgenes externos de las colonias activas en crecimiento de *C. puteana* (hongo de pudrición café) y *T. versicolor* (hongo de pudrición blanca). Para cada

concentración de extracto y especie de hongo, se colocaron cinco repeticiones, obteniendo un total de 80 cajas Petri. Se prepararon adicionalmente 10 cajas Petri para cada hongo con medio de cultivo (malta-agar) a las cuales no se les aplicaron extractos (testigo). Para determinar la influencia de la acetona en el desarrollo de los hongos, se prepararon adicionalmente 5 cajas Petri para cada hongo y se les añadieron 10 ml de acetona.

Los cultivos se mantuvieron en una cámara de crecimiento a una temperatura de 20 ± 2 °C y un contenido de humedad del 65 ± 5%, hasta que el micelio del testigo alcanzó la orilla de la caja Petri. La inhibición del crecimiento se determinó de acuerdo con Géardin *et al.* (2004), donde el efecto se calcula con la siguiente fórmula:

$$Gi = 100\left(1 - \frac{d_1}{d_0}\right)$$

Donde:

Gi = Inhibición del crecimiento en porciento.
d_1 = Diámetro promedio del cultivo en presencia de extractos (mm).
d_0 = Diámetro promedio del cultivo testigo (mm).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durabilidad natural de la madera en microcosmos terrestre (Pre-norma Europea 807)

Pérdida de masa

La madera de *P. laevigata* en contacto con microcosmos terrestre presentó una alta durabilidad contra los microorganismos degradadores de la madera, según se aprecia en la figura 1. La menor pérdida de masa se observó en los sitios China, General Terán y Linares con valores de 10 ± 1%, 9 ± 2% y 12 ± 1% respectivamente, mientras que en el sitio Dr. Arroyo, ubicado geográficamente más al norte, con rango de temperatura y precipitación más bajo que los tres sitios antes mencionados, la pérdida en masa fue mayor (17 ± 5%). Los valores de pérdida en masa presentados en los diferentes sitios fueron menores que los testigos *P. sylvestris* y *F. sylvatica*, cuyos valores fueron de 35 ± 7)% y 84 ± 10%, respectivamente.

Pérdida en MOE_{din}

La reducción en el MOE_{din}, resultado del deterioro producido en la estructura de la madera por los organismos presentes en el microcosmos terrestre, presentó los porcentajes más bajos en los sitios China, General Terán y Linares con 20 ± 4%, 22 ± 8% y 21 ± 7%, respectivamente (Figura 1). En el sitio Dr. Arroyo se observaron valores de MOE_{din} relativamente altos, con un promedio de 39 ± 11%, sin embargo, el MOE_{din} se consideró bajo al compararse con las especies testigo, *P. sylvestris*, cuya pérdida promedió 62 ± 15% y *F. sylvatica*, que tuvo un valor de 91 ± 13%.

La utilidad de usar la pérdida de MOE_{din}, como herramienta para la detección temprana de la degradación ocasionada por el microcosmos terrestre, se puede comprobar en la figura 2, al observar que ya para la semana 8, el testigo *F. sylvatica* mostró pérdida de MOE_{din} de 64 ± 20%, valor considerado alto. En *P. sylvestris*, la pérdida fue de 19 ± 6% y la menor pérdida se presentó en la madera de *P. laevigata* de los diferentes sitios con porcentajes de 3 ± 3% a 9 ± 6%.

En la semana 16, la pérdida de MOE_{din} observada en *F. sylvatica* fue de 79 ± 22%, para *P. sylvestris* fue de 40 ± 9%. Para *P. laevigata*, el sitio con mayor pérdida fue: Dr. Arroyo con 24 ± 10%,

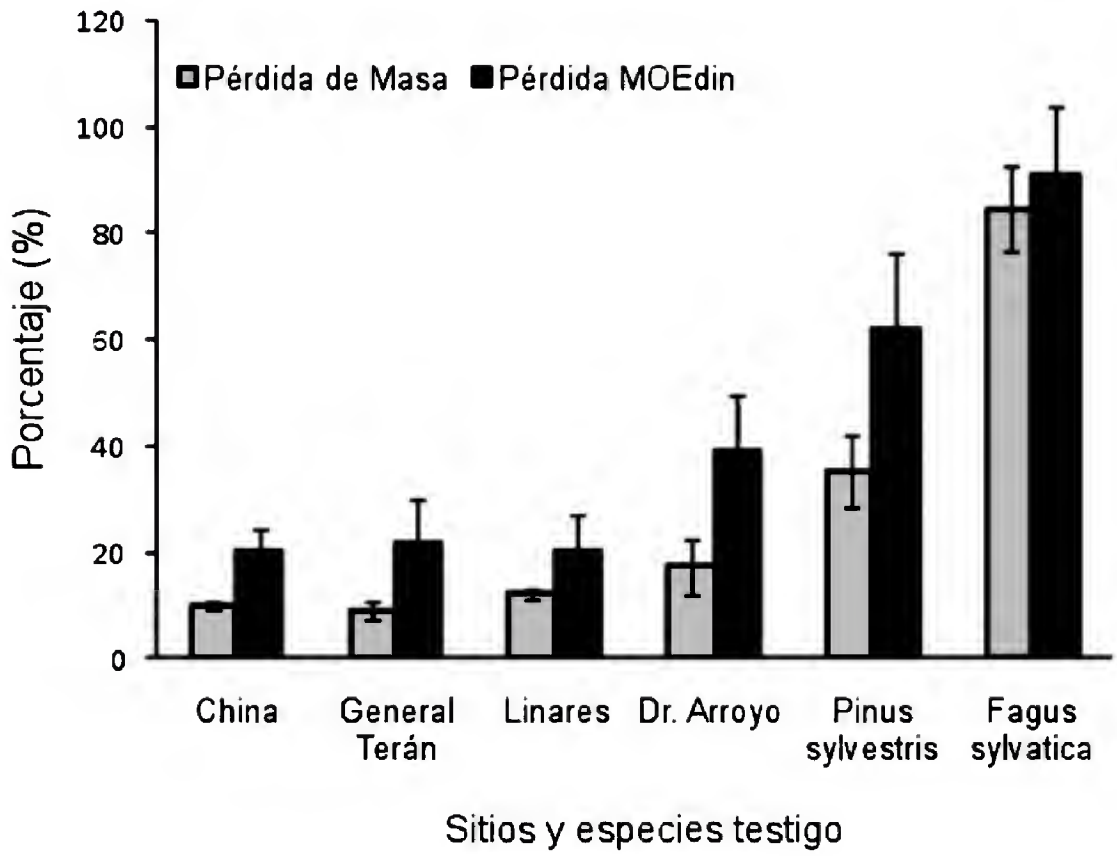

Figura 1. Pérdida de masa y módulo de elasticidad dinámico (MOE_{dyn}) presentado por la madera de *P. laevigata* y los testigos *P. sylvestris* y *F. sylvatica* después de 32 semanas de exposición a microcosmos terrestre.

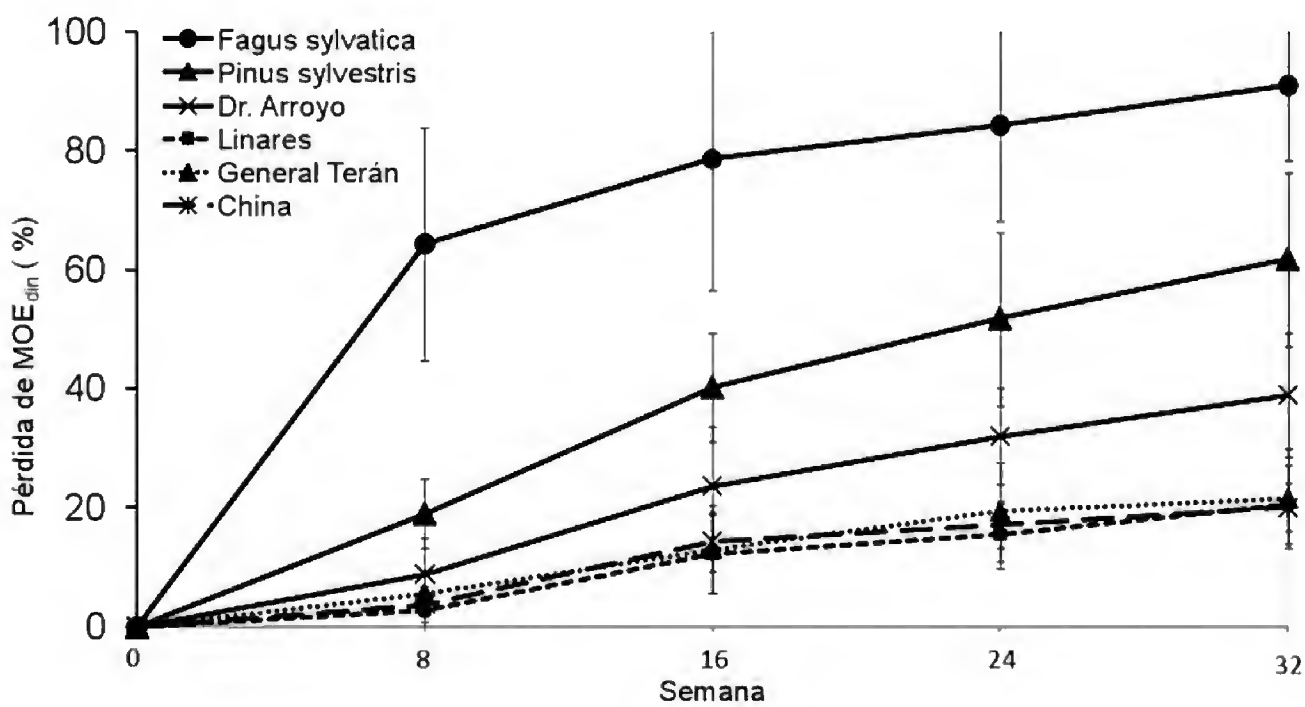

Figura 2. Pérdida de MOE_{din} en las semanas 8, 16, 24 y 32 de *P. laevigata* y de los testigos *P. sylvestris* y *F. sylvatica* expuestos a microcosmos terrestre.

en los sitios China, General Terán y Linares, el porcentaje varió de 12 ± 6% a 14 ± 5%, valores que se consideran bajos en comparación con las especies testigo. Posteriormente, la pérdida de MOE_{din} aumentó paulatinamente, en la semana 32 la pérdida de los testigos *P. sylvestris* y *F. sylvatica* fue de 62 ± 15% y 91 ± 13%, respectivamente. El sitio Dr. Arroyo mostró la mayor pérdida para *P. laevigata* con 39 ± 11%, en los sitios China, Linares y General Terán, la pérdida fue de 20 ± 4%, 20 ± 7% y 22 ± 8%, respectivamente. La temprana detección de pérdida del MOE_{din} mostrada por este método y observada ya para la semana 16, se debe a que los microorganismos presentes en el microcosmos terrestre inician la degradación de algunos componentes de la madera como la celulosa que le proporciona estabilidad mecánica.

Durabilidad de la madera de *P. laevigata* contra Basidiomycetes

Pérdida en masa

Las probetas de *P. laevigata* provenientes de cuatro sitios expuestas a los hongos: *P. ostreatus*, *I. lacteus*, *C. puteana* y *T. versicolor*, presentaron pérdidas en masa de 0,7 ± 0,5%, a 2,6 ± 3,2% después de restar 1,68% que corresponde a la pérdida de masa ocasionada por la lixiviación. Según la Norma Europea EN 113 considera válido un ensayo de degradación producida por hongos, cuando la pérdida de masa para la especie testigo de *F. sylvatica* es mayor a 12%.

El hongo *P. ostreatus* redujo la masa del testigo en 42 ± 7,5%, seguido por *I. lacteus* y *T. versicolor* con 50 ± 5,4% y 51 ± 20%, respectivamente. La mayor pérdida de masa la produjo *C. puteana* con 63 ± 2% (Figura 3). Por lo anterior, se puede inferir que la prueba realizada es válida, al observar que la infección de los hongos utilizados fue la adecuada.

La durabilidad mostrada por la madera de *P. leavigata* contra los cuatro hongos ensayados, se puede observar en la figura 3. Las mayores pérdidas en masa se presentaron en la localidad China al obtener valores de 2,1 ± 0,4%, 2,5 ± 0,3%, 2,3 ± 0,6% y 2,2 ± 0,3%, para los hongos *C. puteana, I. lacteus*, *P. ostreatus* y *T. versicolor,* respectivamente. En el sitio General Terán se observaron pérdidas de 1,6 ± 0,5%, 1,5 ± 0,6%, 1,6 ± 0,7% y 1,6 ± 0,4% para las mismas especies. En Linares el porcentaje de afectación fue de 1,1 ± 0,5%, 2,5 ± 3,2%, 1,2 ± 0,8% y 1,1 ± 0,4%. La menor pérdida en masa se presentó en el sitio de Dr. Arroyo con valores de 0,7 ± 0,6%, 1,4 ± 0,6%, 0,7 ± 0,5% y 0,9 ± 0,5% para las especies *C. puteana, I. lacteus*, *P. oetreatus* y *T. versicolor*, respectivamente.

Según la pérdida de masa y de acuerdo con el Sistema de Clasificación EN 350-1 (EN 350-1, 1994), la madera de *P. laevigata* es clasificada con una durabilidad clase 1 (madera de alta durabilidad con pérdida de masa ≤ 5%) para todos los sitios estudiados.

La resistencia a la degradación de la madera de *P. laevigata* expuesta al hongo *T. versicolor* (valor máximo de 2,2 ± 0,3%) es mayor a la reportada por Wolf y Perales (1985), para la especie *Prosopis glandulosa*, ya que ellos encontraron pérdidas en masa de 4% después de exponer la madera por 12 semanas al hongo *Coriolus versicolor*. Similar a lo anterior, se encuentran los valores reportados por Donoso *et al.* (1984), en un estudio con la madera de las especies *Prosopis tamarugo* y *Prosopis alba* expuestas a los hongos *T. versicolor* y *Lentinus lepideus*, la pérdida de masa en su ensayo fue de 4%.

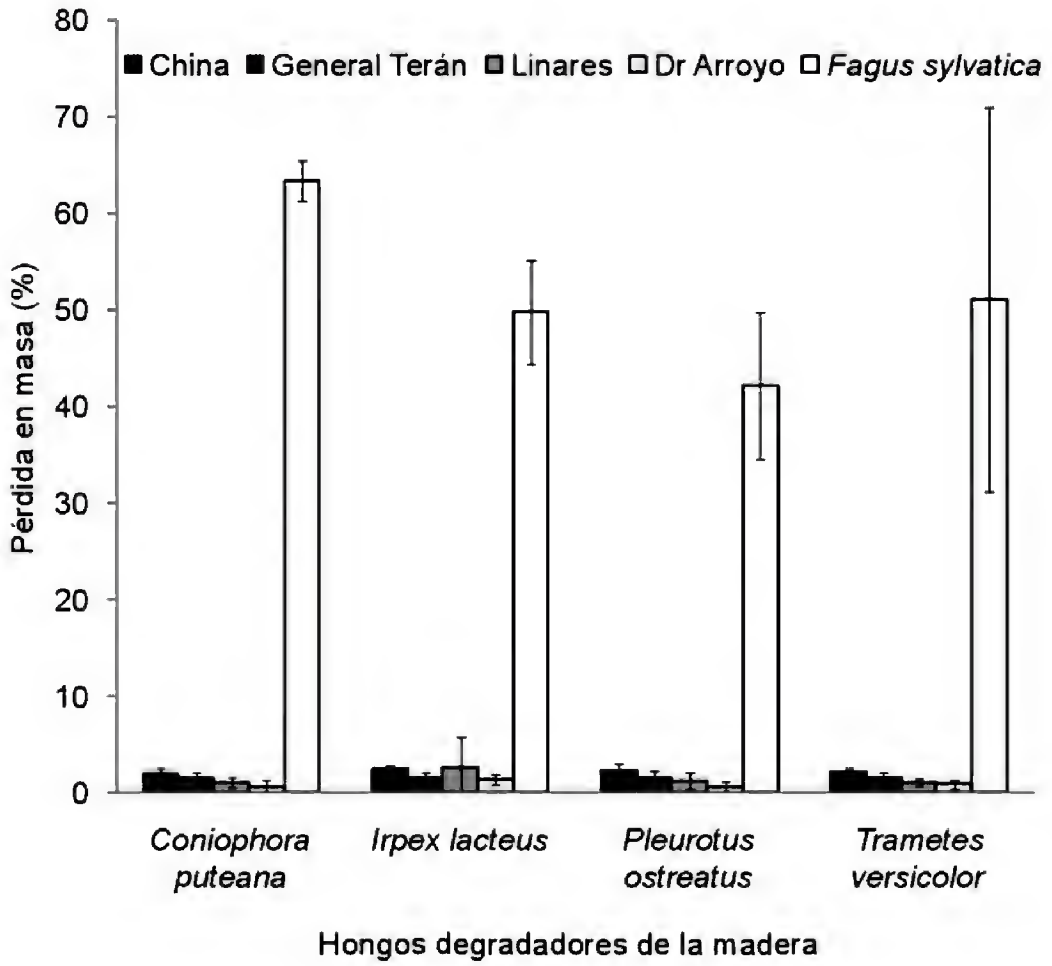

Figura 3. Pérdida de masa de la madera de *P. laevigata* proveniente de cuatro sitios y el testigo *F. sylvatica,* expuestas por 16 semanas a cuatro hongos degradadores de la madera.

La durabilidad natural de *P. laevigata* puede ser el resultado de la interacción de una serie de características intrínsecas de la especie como la presencia de compuestos fenólicos en los lúmenes, punteaduras y células del parénquima que pueden proporcionar una barrera física para el paso de los micelios de los hongos a través de las estructuras anatómicas de la madera.

Por otra parte, la presencia de los compuestos catequina (5,33%), epicatequina (0,51%) y taxifolina (0,05%) reportados por Carrillo *et al.* (2008), los primeros dos son conocidos como antioxidantes que pueden reducir la absorción de agua y por consecuencia la formación de una condición poco apropiada para el desarrollo del hongo. La taxifolina compuesto químico que también ha sido encontrado en la madera de los géneros *Larix*, *Cedrus* y *Pseudotsuga* (Eaton y Hale, 1993) y que fue considerado por Kennedy (1956) como un agente antifúngico.

Pérdida del MOE_{din}

Los resultados de analizar las probetas mediante la pérdida del MOE_{din} se encuentran en la figura 4. En esta se puede apreciar que el sitio General Terán mostró mayor reducción para todos los hongos. En la tabla 2, se destaca que el control *F. sylvatica* presenta valores altos de pérdida de MOE_{din} (67,6 ± 7,8)%, (87,2 ± 9,6)%, (80,0 ± 9,2)% y (78,3 ± 14,2) para los hongos *C. puteana, I. lacteus*, *P. ostreatus* y *T. versicolor*, respectivamente. En forma contraria, la madera de *P. laevigata* en todos los sitios y hongos presentó valores bajos. El sitio China mostró menor pudrición con un promedio

Tabla 2. Reducción del MOE_{din} de las maderas de *P. laevigata* proveniente de cuatro sitios y el testigo *F. sylvatica,* expuestas a cuatro hongos degradadores de la madera.

	Pérdida MOE_{din} (%)			
Sitio	*C. puteana*	*I. lacteus*	*P. ostreatus*	*T. versicolor*
China	1,4 ± 8,0	9,6 ± 8,8	0,2 ± 5,2	4,0 ± 12,2
General Terán	18,1 ± 34,4	28,0 ± 11,8	15,0 ± 17,0	18,8 ± 10,4
Linares	3,4 ± 16,3	9,4 ± 6,0	13,2 ± 22,4	2,0 ± 4,8
Dr. Arroyo	4,1 ± 23,6	5,9 ± 5,6	6,2 ± 13,6	3,7 ± 32,8
F. sylvatica	67,6 ± 7,8	87,2 ± 9,6	80,0 ± 9,2	78,3 ± 14,2

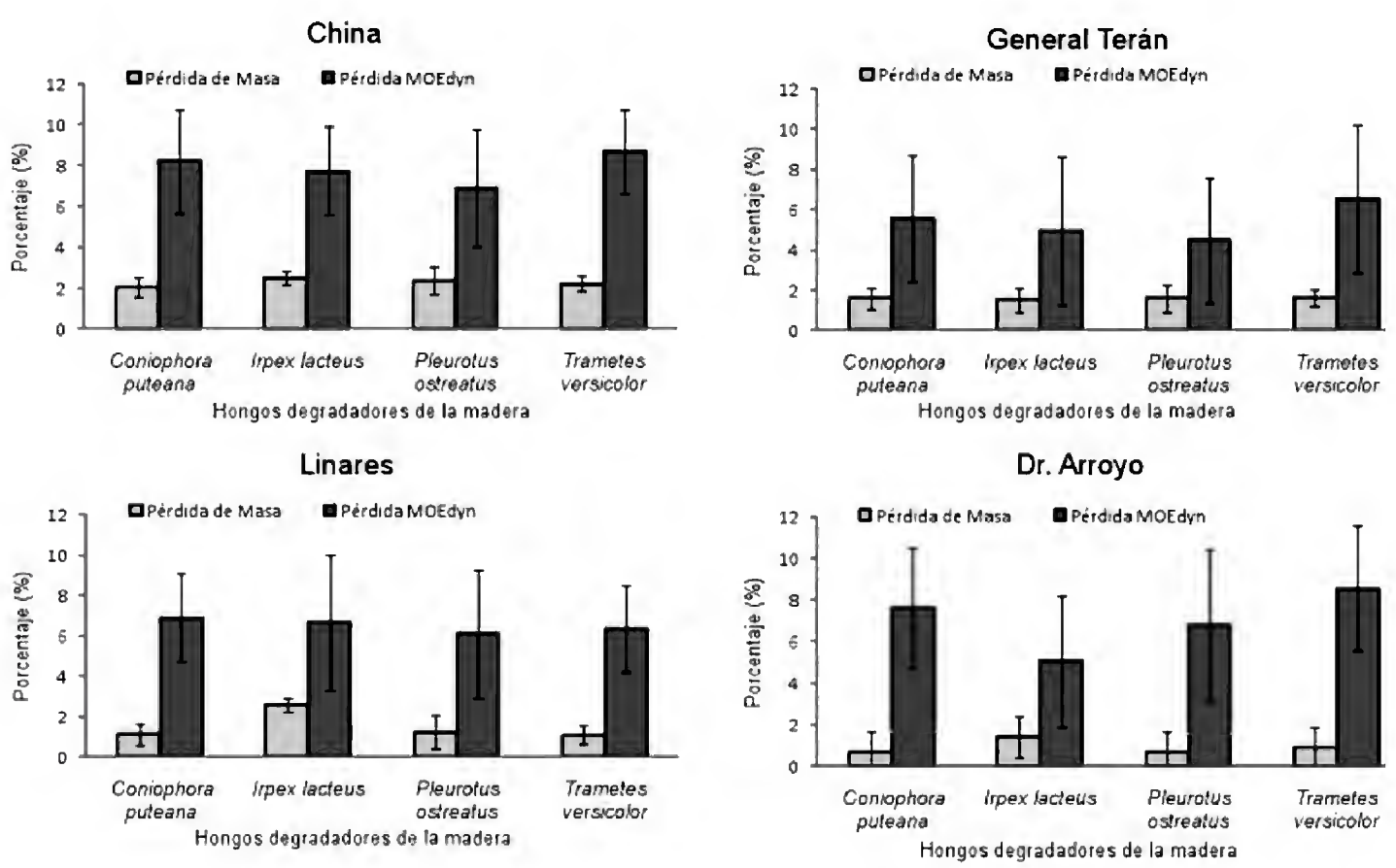

Figura 4. Valores promedio de la pérdida en masa y pérdida del MOE_{dyn} de la madera de *P. laevigata* proveniente de cuatro sitios al ser expuestas durante 16 semanas a cuatro hongos degradadores de la madera.

de 3,8 ± 4,2% para todos los hongos, seguida por los sitios Dr. Arroyo con 5,0 ± 1,3 y Linares con 7,0 ± 5,2% y, finalmente, en el sitio General Terán con 19,9 ± 5,6%.

Inhibición en el crecimiento de los hongos provocado por los extractos de la madera

Los hongos *C. puteana y T. versicolor*, causantes de la pudrición café y pudrición blanca, respectivamente, muestran una fuerte inhibición en su crecimiento al colocarlos en un medio de cultivo con extractos de la madera de *P. laevigata.* Como se puede apreciar en la figura 5, los extractos en una concentración de 10 000 ppm obtenidos de la solubilidad con agua caliente presentan porcentajes de inhibición del crecimiento de 83 ± 8% y 93 ± 6% para *C. puteana* y *T. versicolor*, respectivamente.

Algo similar ocurre con los extractos obtenidos de etanol como solvente y en concentración de 10 000 ppm. La inhibición en el crecimiento de *C. puteana* fue de 81 ± 3% a 93 ± 4% para *T. versicolor.* El efecto inhibitorio producido por extractos de etanol ya ha sido reportado por Sjöström (1981), Eaton y Hale (1993) y Velásquez *et al.* (2006), quienes coinciden al explicar que el efecto se debe a que el etanol tiene la capacidad de extraer compuestos cíclicos aromáticos, principalmente fenoles, polifenoles y lignina de bajo peso molecular, los cuales son sustancias con una fuerte influencia en la resistencia a la degradación de la madera (Eaton y Hale, 1993; Schultz y Nicholas, 1997; Singh y Kim, 1997).

Por otra parte, los extractos obtenidos utilizando acetona y en cualquiera de las cuatro concentraciones (100 ppm,

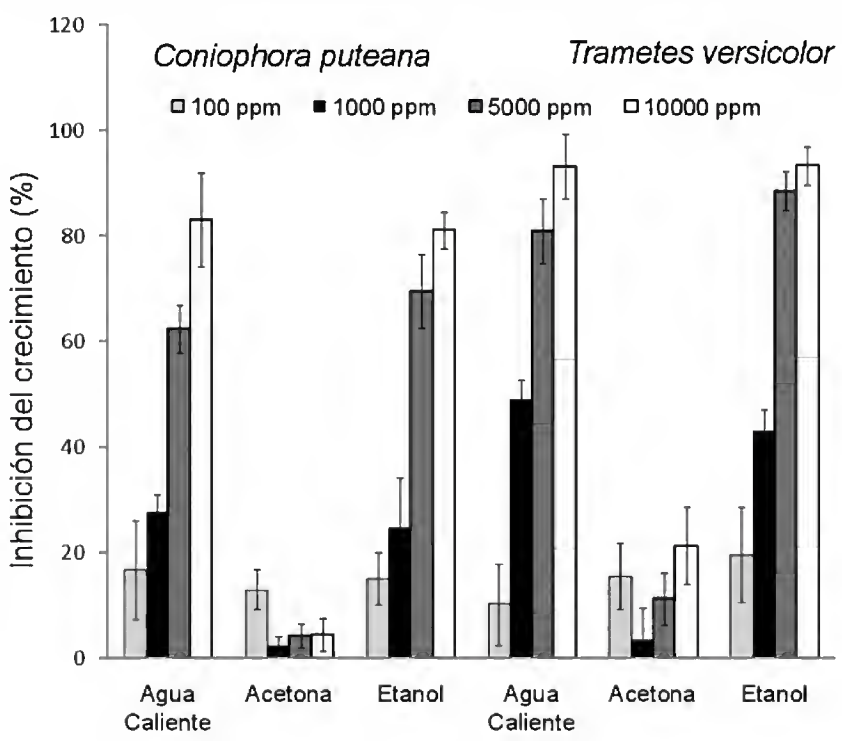

Figura 5. Inhibición del crecimiento de los hongos *C. puteana* y *T. versicolor* producido por extractos de *P. laevigata* en concentraciones de 100 ppm, 1000 ppm, 5000 ppm y 10000 ppm.

1 000 ppm, 5 000 ppm y 10 000 ppm) no mostraron inhibición del crecimiento para *C. puteana*, el rango fue de 4,4 ± 3,1% a 12,9 ± 15,5% y en *T. versicolor* la inhibición fue desde 3,4 ± 6,0% hasta 21,2 ± 7,2%. No se encontró inhibición en el crecimiento de los hongos al añadir 10 ml de acetona al medio de cultivo en los testigos, ya que el crecimiento de los hongos en estas cajas se presentó sin alteraciones; el uso de acetona como disolvente no estuvo influenciando los resultados reportados.

Géardin *et al.* (2004), reportaron en un estudio para determinar la inhibición en el crecimiento de hongos, 50% de inhibición en el crecimiento de los hongos al utilizar extractos de *Prosopis africana* obtenidos de la solubilidad con agua caliente y etanol en concentraciones de 1 000 ppm.

CONCLUSIONES

Se encontró que la madera de *P. laevigata* proveniente de los sitios China, General Terán, Linares y Dr. Arroyo es altamente durable, al ser expuesta por 32 semanas a un microcosmos terrestre, la pérdida en masa fue menor a 17%, y la mayor pérdida de MOE_{din} fue de 39%. De igual forma, la madera de *P. laevigata* fue altamente durable al exponerla según las condiciones establecidas en la Norma Europea (EN 113) al ataque de los hongos *C. puteana*, *I. lacteus*, *P. ostreatus* y *T. versicolor*, causantes de la pudrición de la madera. La pérdida de masa en promedio fue menor a 2,5% para todos los hongos y la pérdida de MOE_{dyn} fue menor a 19%. Por lo expuesto anteriormente y con base en la Norma Europea 350-1, la madera de *Prosopis laevigata* es clasificada con una durabilidad Clase 1 (muy durable).

Las diferentes condiciones ambientales y la ubicación geográfica en los sitios estudiados, no representó influencia en la durabilidad de las maderas, por lo tanto pueden ser utilizadas en condiciones similares.

Los extractos de *P. laevigata* obtenidos por medio de agua caliente y etanol como solventes y en concentración a 10 000 ppm, proporcionan un efecto inhibitorio en crecimiento superior a 81% para el hongo *C. puteana* y superior a 93% en *T. versicolor*. Los valores de inhibición dados por extractos obtenidos por acetona mostraron inhibiciones menores a 23% en todas las concentraciones.

REFERENCIAS

Alden, H.A. 1995. Hardwoods of North America. General Technical Report 83. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI. 136 p.

Aloui, F., N. Ayadi, F. Chamier y B. Charrier. 2004. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz als Roh und Werkstof. 62(4):286-290.

Balaban, M., C. Atik y G. Uçar. 2003. Fungal growth inhibition by wood extracts from *Juniperus foetidissima* and *J. oxycedrus*. Holz als Roh und Werkstoff. 61(3):231-232.

Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (*Leguminosae* subfam *Mimosoideae*). Journal of the Arnold Arboretum. 57(3):219-249.

Carrillo, A., I. Mayer, G. Koch y F. Hapla. 2008. Wood anatomical characteristics and chemical composition of

Prosopis laevigata grown in the Northeast of Mexico. IAWA Journal, Vol. 29(1):25-34.

Donoso, J., E. Cuevas, R. Rosende e I. Ulloa. 1984. Natural durability and permeability of tamarugo (*Prosopis tamarugo* Phil.) and algarrobo (*Prosopis alba* GRISEB). *In*, International Round Table on *Prosopis tamarugo* Phil. Santiago, Chile, 11 Jun 1984. FAO.

Eaton, R.A. y M.D.C. Hale. 1993. Wood: decay, pests and protection. Chapman & Hall. London. Nueva York. 546 p.

EN 113, 1996. European Norm 113. Wood preservatives. Test method for determinating the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes. Determination of the toxic values. European Committe for Standarisation. Bruselas, Bélgica.

EN 350-1. 1994. European Norm 350-1. Natural Durability of Solid Wood Part 1: Guide to the Principles of Testing and Classification of the Natural Durability of Wood. European Committe for Standarisation. Bruselas, Bélgica.

ENV 807, 2001. Pre-Norma Europea 807. Wood preservatives. Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. European Committe for Standarisation. Bruselas, Bélgica. ISBN 0 580 37579 X. 44 p.

Fengel, D. y G. Wegener. 1989. Wood, chemistry, ultrastructure, reactions. Ed. Walter de Gruyter. Nueva York. EUA. 613 p.

Folliott, P.F. y J.L. Thames. 1983. Handbook on taxonomy of *Prosopis* in Mexico, Peru and Chile. FAO. Roma, Italia. 31 p.

Géardin, P., B. Neya, S. Dumarçay, M. Pétrissans, M. Serraj y F. Huber. 2004. Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. Holzforschung. 58(1):39-44.

Giménez, A.M., G. Moglia, P. Hernández y S. Bravo. 2000. Leño y la corteza de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron, Mimosaceae, en relación a algunas magnitudes dendrométricas. Rev. Forest. Venez. 44(2):29-37.

Gutiérrez, A., V. Baonza, J.I. Fernandez-Golfín, M. Conde y E. Hermoso. 2006. Effect of growth conditions on wood density of spanish *Pinus nigra*. Wood Science and Technology. 40(3):190-204.

Haupt, M., H. Leithoff, D. Meier, J. Puls, H. G. Richter y O. Faix. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teak wood (*Tectona grandis* L.) a case study. European Journal of Wood and Wood Products. 61(6):473-474.

Hearmon, R.F.S. 1966. Theory of the vibration testing of wood. Forest Product Journal 16(8):29-40.

Hillis, W.E. 1968. Heartwood formation and its influence on utilization. Wood Science and Technology 2(4):260-267.

Hillis, W.E. 1987. Heartwood and tree exudates. Springer Series in Wood Science. Ed. Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, Nueva York. 268 p.

INE. 1994. Mezquite *Prosopis* spp. cultivo alternativo para las zonas áridas y

semiáridas de México. México. 30 pp.

Juárez M., J., G. Carrillo-C., R. Arreguín y A. Rubluo. 2002. Inter- and intra-genetic variation of four wild populations of *Prosopis* using RAPD-PCR fingerprints. Biodiversity and Conservation 11:921-930.

Kennedy, R.W. 1956. Fungicidal toxicity of certain extraneous components of Douglas-fir heartwood. Forest Products Journal. 6:80-84.

Machek, L., H. Militz y R. Sierra-Alvarez. 1998. A dynamic approach to assess the modulus of elasticity in wood decay testing. *In*, Memorias International Research Group on Wood Preservation. Maastricht, Holanda.

Machek, L., H. Militz y R. Sierra-Alvarez. 2001. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. Wood Science and Technology 34(6):467-472.

Mantanis, G.I., R.A. Young y R.M. Rowell. 1995. Swelling of wood. Part III. Effect of temperature and extractives on rate and maximum swelling. Holzforschung 49(3):239-248.

Meraz, S., J. Orozco, J.A. Lechuga, F. Cruz y J. Verón. 1998. El mezquite, árbol de gran utilidad. Ciencias 51:20-21.

Pasiecznik, N.M., P. Felker, P.J.C. Harris, L.N. Harsh, G. Cruz, J.C. Tewari, K. Cadoret y L. J. Maldonado. 2001. The *Prosopis juliflora-Prosopis pallida* Complex: A Monograph. HIDRA, Coventry, Reino Unido.

Reyes-Chilpa, R., F. Gómez-Garibay, G. Moreno-Torres, M. Jiménez y R. I. Quiroz-Vásquez. 1998. Flavonoids and isoflavonoids with antifungal properties from *Platymiscium yucatanum* heartwood. Holzforschung 52(5):459-462.

Ríos, N.A., A.M. Giménez y J.G. Moglia. 2001. Crecimiento del itín (*Prosopis kuntzei* Harms) en la Región Chaqueña Argentina. Madera y Bosques. 7(1):47-56.

Rodríguez, F. y A. Maldonado. 1996. Overview of past, current and potential uses of mesquite in México. *In*: R. Felker y J. Moss, eds. *Prosopis*; Semiarid Fuel Wood and Forage Tree Building Consensus for the Disenfranchised. Center from Semiarid Forest Resources. Kingsville, Texas. EUA. p:6.41-6.52.

Singh, A. y Y. Kim, 1997. Biodegradation of wood in wet environments: a review. The International Research Group on Wood Preservation. Document num. IRG/WP/97-10217.

Schultz, T.P. y D.D. Nicholas. 1997. Susceptibility of angiosperm sapwood to white rot fungal colonization and subsequent degradation: a hypothesis. The International Research Group on Wood Preservation. Document num. IRG/WP/97-10211, 10 p.

Sjöström, E. 1981. Wood Chemistry: Fundamental and Applications. Academic Press Inc., Nueva York. 223 p.

Taylor, A., B.L. Gartner, J. Morrell y K. Tsunoda. 2006. Effects of heartwood extractive fractions of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis nootkatensis* on wood degradation by termites or fungi. Journal of Wood Science. 52(2):147-153.

Thulasidas, P.K. y K.M. Bhat. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. European

Journal of Wood and Wood Products 65(2):121-124.

Velásquez, J., M.E. Toro, L. Rojas y O. Encinas. 2006. Actividad antifúngica *in vitro* de los extractivos naturales de especies latifoliadas de la Guayana Venezolana. Madera y Bosques 12(1):51-61.

Wolf, F. y F. Perales. 1985. Durabilidad natural de la madera de algunas especies del matorral del noreste de México. Reporte científico núm. 3. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, Universidad Autónoma de Nuevo León. UANL. ISSN 0 185 6332. 15 p.

Manuscrito recibido el 23 de junio de 2009
Aceptado el 04 de mayo de 2010

Este documento se debe citar como: Carrillo-Parra, A., F. Hapla, C. Mai y F. Garza-Ocañas. 2011. Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera. *Madera y Bosques* 17(1):7-21.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán

Anatomical characteristics and physycal properties of wood of *Caesalpinia gaumeri* Greenm in Dzan, Yucatan

Víctor Manuel Interián-Ku[1], María Amparo Borja de la Rosa[2], Juan Ignacio Valdez-Hernández[3], Edmundo García-Moya[1], Angélica Romero-Manzanares[1] y Humberto Vaquera-Huerta[4]

RESUMEN

Caesalpinia gaumeri Greenm es una especie muy apreciada en la construcción de casas y postes para cercas en la región maya de Yucatán. Con la finalidad de contribuir al conocimiento tecnológico de sus atributos y proponer usos potenciales de la madera de esta especie, se describieron sus características anatómicas y propiedades físicas. El presente trabajo se realizó en cuatro árboles de una selva baja caducifolia de Yucatán. Se encontró que el duramen es de color café oscuro y la albura de color castaño, el hilo es entrecruzado, el veteado es pronunciado, el brillo y la textura es media y la porosidad es difusa; los elementos de vaso son extremadamente cortos, tienen placa de perforación simple y punteaduras pequeñas e inclusiones; los rayos son uniseriados y biseriados, extremadamente bajos y finos; el parénquima axial es aliforme y confluente; las fibras son de longitud mediana y con paredes extremadamente gruesas; la densidad básica es pesada y la contracción volumétrica total es media; no se observa una transición clara entre madera temprana y tardía. Se concluye que por las características anatómicas (rayos extremadamente bajos, finos y abundantes, fibras con paredes gruesas a muy gruesas y la presencia de gomas) y las propiedades físicas de la madera (densidad), *C. gaumeri* se puede utilizar en la elaboración de durmientes, postes, duelas y artesanías, sin embargo, su aprovechamiento para carpintería y trabajos finos está limitado por defectos como el grano entrecruzado y presencia de cristales de tipo romboidal.

PALABRAS CLAVE:
Aprovechamientos potenciales, construcciones rurales, estructuras celulares, Kitimché, selva baja caducifolia.

ABSTRACT

Caesalpinia gaumeri Greenm is a highly prized species for construction of houses and poles in the Mayan region of Yucatan. In order to contribute to technological knowledge of its attributes and suggest potential uses of wood, were described its anatomical features and physical properties. This work was conducted in four trees in a tropical deciduous forest of Yucatan. It was found that the wood is dark brown color in the heartwood and chestnut in the sapwood, wire is cross, pronounced veining,

1 Colegio de Potgraduados, Posgrado en Botánica. Correos electrónicos: interian@colpos.mx, edmundo@colpos.mx, dahly@colpos.mx.
2 Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Km. 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. Correo electrónico: aborja@correo.chapingo.mx
3 Colegio de Postgraduados, Programa Forestal. Correo electrónico: ignaciov@colpos.mx
4 Colegio de Potgraduados, Programa en Estadística. Correo electrónico: hvaquera@colpos.mx..

texture and brightness are average, diffuse porosity; the elements of vessel have simple perforation plates, small pits and inclusions; the rays are uniseriate and biseriate, extremely low and thin; the axial parenchyma is aliform and confluent; fiber medium and cellular wall extremely thick; heavy density and for volumetric contraction as medium; there is no clear transition between early and late wood. By the anatomic characteristic (rays extremely low, thin and abundant, fiber medium and cellular wall extremely thick and inclusions) and physical properties such as heavy density, the wood of *C. gaumeri* can be used in the development of ties, poles, staves, and crafts. The wire cross and rhomboidal crystal of the wood limits the use in carpentry.

KEYWORDS:
Potential uses, rural constructions, cellular structures, Kitimché, tropical deciduous forest.

INTRODUCCIÓN

La madera del tronco de los árboles es uno de los materiales más utilizados por las diferentes culturas a lo largo de la historia humana para la fabricación de armas, herramientas, vehículos de transporte y casas (Navarro-Martínez *et al.*, 2005). En la región maya de Yucatán se aprovechan para diversas aplicaciones entre 100 y 250 especies vegetales (Toledo *et al.*, 2008), que se desarrollan en las reservas forestales tradicionales (Cob *et al.*, 2003), de ellas, *Caesalpinia gaumeri* (Kitimché), es muy apreciada para la construcción de casas estilo maya y para la elaboración de postes (Levy y Hernández, 1994).

Las condiciones ambientales que rodean a los árboles durante su crecimiento y su capacidad genética les confieren características fenotípicas variables (Harold y Hocker, 1984), incluso en su estructura interna (León y Espinoza, 2001). Por lo anterior y pese a que ya han sido estudiadas las características anatómicas de la madera de árboles de *Caesalpinia gaumeri*, procedentes de una selva mediana subperennifolia de Quintana Roo (Rebollar *et al.*, 1996-1997), se considera importante revisar con detalle estas características, bajo condiciones de vegetación, suelo y clima diferentes a las ya reportadas, como las que se presentan en la región sur del estado de Yucatán, donde se desarrolló el presente trabajo de investigación. Además, se incluyó información de las propiedades físicas de este taxón, con el fin de proponer en términos tecnológicos, las mejores y nuevas posibilidades de aprovechamiento de la especie en la carpintería, pisos, lambrín, parquet, entre otros (Borja y Tamarit, 1997; León y Espinoza, 2001).

OBJETIVOS

Conocer y determinar las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm de la región sur del estado de Yucatán, para proponer o confirmar sus usos potenciales.

METODOLOGÍA

Descripción de la zona de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el predio San Manuel (20º 23' 46" N y 89º 26' 19" O) ubicado en el municipio de Dzan, Yucatán, a una altura de 24 msnm, en una selva baja caducifolia de aproximadamente 60 años de edad serial sucesional denominada en maya *Nukuch k'aax*, sin disturbio humano. El dosel tiene en promedio 10 m de altura y las especies de mayor importancia por su densidad arbórea, área basal y valor de importancia son: *Gymnopodium floribundum* Rolfe, *Thouinia pausidentata* Radlk., *Caesalpinia gaumeri* Greenm, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Guettarda elliptica*

Sw., *Lonchocarpus yucatanensis* Pittier, *Diospyros anisandra* S.F. Blake, *Neea choriophylla* Standl., *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Bauhinia divaricata* L. y *Acacia gaumeri* Blake (White y Hood, 2004). El clima del lugar es considerado como cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_1), con una precipitación anual de 1 200 mm y una temperatura media anual de 21,1 °C (García, 2004). Los tipos de suelo predominantes son someros (2,7 cm) y retienen poca humedad: luvisoles (k'ankab; plano de color rojo) y leptosoles (tzek'el, bo'ox lu'um; con afloramiento rocoso) (Duch, 1994; White y Hood, 2004; García *et al.*, 2005).

Obtención de las muestras de madera

Se seleccionaron cuatro árboles vigorosos, con fuste limpio, sanos, en edad reproductiva y con diámetros semejantes (20 cm), los cuales fueron derribados a 30 cm de altura sobre el suelo. Del fuste limpio de cada árbol se obtuvieron dos trozas de 1,20 m de longitud. Al final de la primera troza de cada árbol se obtuvo una rodaja de cinco centímetros de grosor (cuatro rodajas en total).

Caracterización macroscópica

Se elaboraron tablillas de cortes típicos (transversal, longitudinal radial y tangencial), con dimensiones de 1 cm x 7 cm x 15 cm de albura y duramen. Se determinaron las características macroscópicas, a simple vista, y con ayuda de una lupa 10 X. Después, se clasificaron con base en Tortorelli (1956). El color se determinó con la carta de colores Munsell (1975).

Caracterización microscópica

Se cortó una rodaja por árbol (4 árboles en total) de cinco centímetros de grosor a una altura de 1,3 m y se obtuvieron 130 cubos (18 cerca de la médula, 56 de duramen y 56 de albura) de 1,5 cm x 1,5 cm x 1,5 cm. Después, se seleccionó un cubo por zona, por árbol, con las caras típicas (11 en total, ya que un árbol no tenía duramen) y se colocaron en un digestor casero[1] con agua en un vaso de precipitado a una presión de 2,5 kg cm^{-2} durante dos minutos para ablandarlos y posteriormente se colocaron en una solución de alcohol y glicerina en partes iguales. De cada cubo (11) se obtuvieron 5 cortes típicos (55 en total) de 20 µm de grosor con un micrótomo de deslizamiento, se depositaron en frascos con agua destilada, se tiñeron con Pardo de Bismarck al 1% por 24 horas, se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso del colorante y se colocaron en alcohol etílico al 96 % durante tres minutos, posteriormente en alcohol absoluto al 100 % por el mismo tiempo con el fin de deshidratarlos, inmediatamente después se sumergieron en xilol de uno a dos minutos, se fijaron con Resina Entellan. Al final, se elaboraron 55 preparaciones permanentes (Navarro-Martínez *et al.*, 2005).

Con la ayuda de una cámara Moticam modelo 1000 y el paquete Motic versión 1.3 (2003) se tomaron cuatro campos de cada preparación (220 en total) y con el paquete Image Tool versión 3.0 (Wilcox *et al.*, 2002) se midieron la altura, el diámetro y el número de los rayos (todos los presentes en el campo) en el corte tangencial. Así como los diámetros radial, tangencial y número por mm^2 de los vasos presentes en el campo. Las características microscópicas observadas se clasificaron de acuerdo con Chattaway (1932) e IAWA (1939, 1989), Tortorelli (1956), Jane (1970) y Terrazas (1984).

1 Equipo diseñado por el M.C. Mario Fuentes Salinas para el laboratorio de Anatomía y Tecnología de la madera de la Universidad Autónoma Chapingo.

Disociados

Se eligió un cubo por zona por rodaja por árbol (12 en total) y se obtuvieron cuatro astillas de aproximadamente 0,5 cm x 1 mm x 1 mm (48 en total), las cuales se depositaron en frascos con una solución de peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial en partes iguales y se colocaron en una estufa a 60 °C durante 24 horas. Posteriormente, se lavaron con agua destilada hasta eliminar el olor de la solución disociadora, se agitaron y tiñeron con Pardo de Bismarck al 1% por 24 horas (Navarro-Martínez *et al.*, 2005). Se hicieron preparaciones temporales y se tomaron fotografías con una cámara Moticam modelo 1000 y el paquete Motic versión 1.3 (2003). Luego, con el paquete Image Tool versión 3.0 (Wilcox *et al.*, 2002), se midió la longitud de la fibra, diámetro de lumen y grosor de la pared celular, longitud del vaso y diámetro de las punteaduras de un total de 516 fibras y 240 vasos (fibras = 43 x 4 árboles x 3 zonas, vasos = 20 x 4 árboles x 3 zonas), lo cual se calculó con la fórmula siguiente:

$$n = (t^2 * s^2)/e^2$$

Donde:

n = tamaño de muestra
t^2 = t de Student al cuadrado
s^2 = varianza
e^2 = error reducido a 5%

Con los resultados se obtuvieron los valores máximo, mínimo, media, desviación estándar y coeficiente de variación.

Propiedades físicas

Densidad
Se determinó de acuerdo con la NMX-EE-117-1981, en 132 probetas de 2 cm x 2 cm x 2 cm provenientes de la zona cerca de la médula (24), parte media (47) y cercana a la corteza (61). De cada probeta se registró el peso (P_V) y volumen (V_V) en estado verde, posteriormente, se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a (103 ± 2) °C, se anotó el peso (P_0) y volumen (V_0) anhidro para obtener las densidades básica (D_b) y anhidra (D_0), con las siguientes fórmulas:

$$D_b = P_0/V_V$$

$$D_0 = P_0/V_0$$

La densidad básica y anhidra se clasificó de acuerdo con la recomendación de Vignote y Jiménez (1996).

Contenido de humedad
En 119 probetas de 2 cm x 2 cm x 2 cm, se determinó el peso (P_V) y volumen (V_V) en estado verde, después, se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a 103 ± 2°C y se obtuvieron el peso (P_0) y el volumen (V_0) anhidros para calcular el contenido total de humedad (% CH) (Navarro-Martínez *et al.*, 2005) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CH} = (P_V - P_0 / P_0) \times 100$$

La clasificación de esta variable se realizó de acuerdo con Díaz (1960).

Contracción
En 119 probetas de 3 cm x 2 cm x 2 cm se obtuvieron el peso (P_V) y el volumen (V_V) en estado verde para la contracción volumétrica total (% $_{vt}$) y para la contracción lineal en los planos tangencial (% $_T$), axial (% $_a$) y radial (% $_r$). Se midieron la longitud tangencial (T_V), axial (A_V) y radial (R_V) en estado verde con un vernier digital. Luego se llevaron a peso constante (estado anhidro) en una estufa a 103 ± 2 °C y se registraron de nuevo peso (P_0), volumen (V_0), longitud tangencial (T_0), axial (A_0) y radial (R_0) (Navarro-Martínez *et al.*, 2005) y, con las siguientes fórmulas, se calcularon las contracciones:

$$\% \beta_{vt} = V_V - V_0 / V_V \times 100$$

$$\% \beta_T = T_V - T_0 / T_V \times 100$$

$$\% \beta_a = A_V - A_0 / A_V \times 100$$

$$\% \beta_r = R_V - R_0 / R_V \times 100$$

La contracción volumétrica total se clasificó de acuerdo con Echenique *et al.* (1975) y la tangencial y radial de acuerdo con Negrete (1970).

El punto de saturación de la fibra (PSF) y el coeficiente de contracción volumétrica total (V) se estimaron con las siguientes fórmulas (Fuentes-Salinas, 1998):

$$PSF = \% \beta_{Vt} / (Db \times 0.9)$$

$$V = \% \beta_{Vt} / PSF$$

El PSF se clasificó de acuerdo con las recomendaciones de Novelo (1964) y el volumen de acuerdo con Fuentes-Salinas (1998).

La relación de anisotropía (A) se calculó con la fórmula: $A = \% ,_T / ,_R$ y se clasificó de acuerdo con Ordóñez *et al.* (1990).

RESULTADOS

Descripción macroscópica

La madera tiene un olor perceptible, sabor astringente, no se observa una transición clara entre madera temprana y tardía (Figura 1a). El duramen es de color café oscuro amarillento (HUE 10YR 3/6) y la albura castaño muy pálido (HUE 10YR 7/3), con veteado pronunciado, brillo medio (Figura 1b), hilo entrecruzado y textura media (Figura 1c).

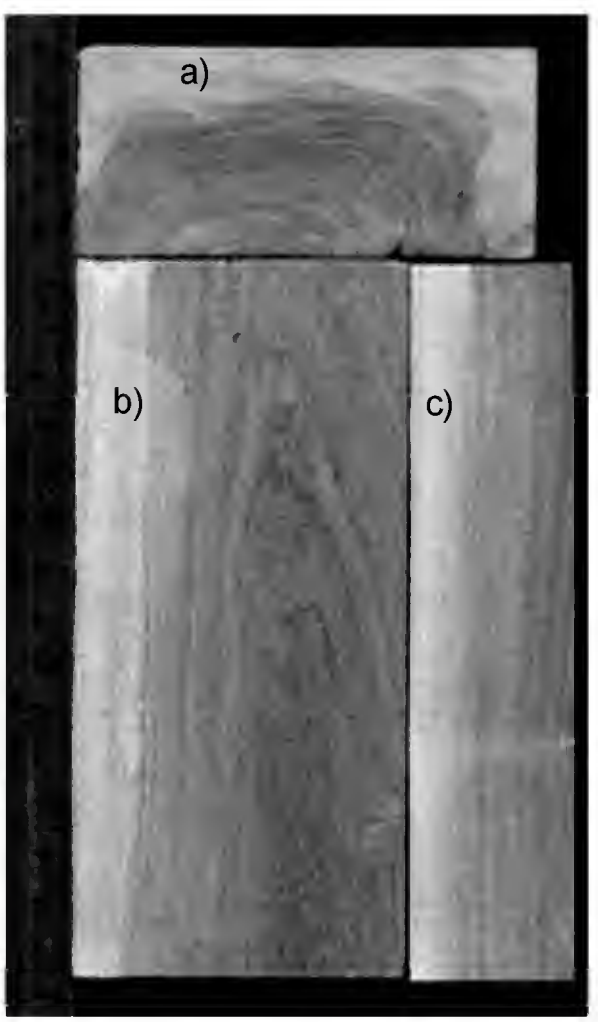

Figura 1. Color, veteado, hilo y textura en cortes típicos de *Caesalpinia gaumeri* Greenm: a) transversal; b) tangencial y c) radial.

Descripción microscópica

En el corte transversal se observa porosidad difusa; los poros son en su mayoría solitarios y en algunos casos múltiples radiales (2-4), con gomas; también se distinguen líneas de parénquima concéntrico en bandas finas (de una célula), así como parénquima paratraqueal aliforme y aliforme confluente (Figura 2a y b). Los poros, por su abundancia, se clasifican como moderadamente pocos y, por su diámetro radial y tangencial, como muy pequeños (Tabla 1). En el plano radial, los vasos presentan una placa de perforación simple (Figura 2c) y los rayos son homocelulares con células procumbentes (Figura 2c y d). En el plano tangencial, el parénquima axial está formado por filamentos de dos células fusiformes (Figura 2e). Los rayos son uniseriados y biseriados (Figura 2e y f), por su altura se clasifican como extremadamente bajos, por su diámetro como extremadamente finos y por su abundancia como extremadamente abundantes (Tabla 1).

Tabla 1. Características microscópicas de *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

Variable	N	Media µm	Coeficiente de variación	Desviación estándar	Máxima µm	Mínima µm	Clasificación
Fibra	516						
Longitud		1 048,8	10,8	113,7	1 387,7	566,9	Mediana (900-1 600 µm) [1]
Diámetro de lumen		5,1	55,8	2,8	18,3	1,1	Mediano (5-10 µm)[2]
Diámetro total		16,5	16,7	2,8	29,2	7,8	Fino (<25 µm)[1]
Grosor de pared celular		11,4	23,3	2,6	19,8	4,2	Extremadamente gruesa (>7 µm)[2]
Vasos							
Longitud	240	218,2	14,1	30,7	330,9	94,9	Extremadamente cortos (<300 µm)[2]
Diámetro radial (poros)	1 309	83,3	23,4	19,5	128,4	20,3	Muy pequeño (<100 µm)[3]
Diámetro tangencial (poros)	1 309	65,9	19,2	12,6	101,1	23,5	Muy pequeño (<100 µm)[3]
Poros por mm²	220*	10	0,3	2,8	18	6	Moderadamente pocos (6-16 mm²)[2]
Diámetro de punteaduras	240	4,8	0,2	0,9	5,8	3,8	Pequeño (4-7 µm)[4]
Rayos	3 342						
Altura		116,5	17,5	20,3	191,4	36,4	Extremadamente bajos (<500 µm)[5]
Diámetro		13,2	32,8	4,3	35,3	5,3	Extremadamente finos (<15 µm)[6]
Rayos por mm²	88*	42	0,2	7,6	62	28	Extremadamente abundantes (>9 mm²)[2]

N = Número de estructuras medidas; * = número de imágenes medidas; [1]Tortorelli (1956); [2]Terrazas (1984); [3]Jane (1970); [4]IAWA (1989); [5]Chattaway (1932); [6]IAWA (1939).

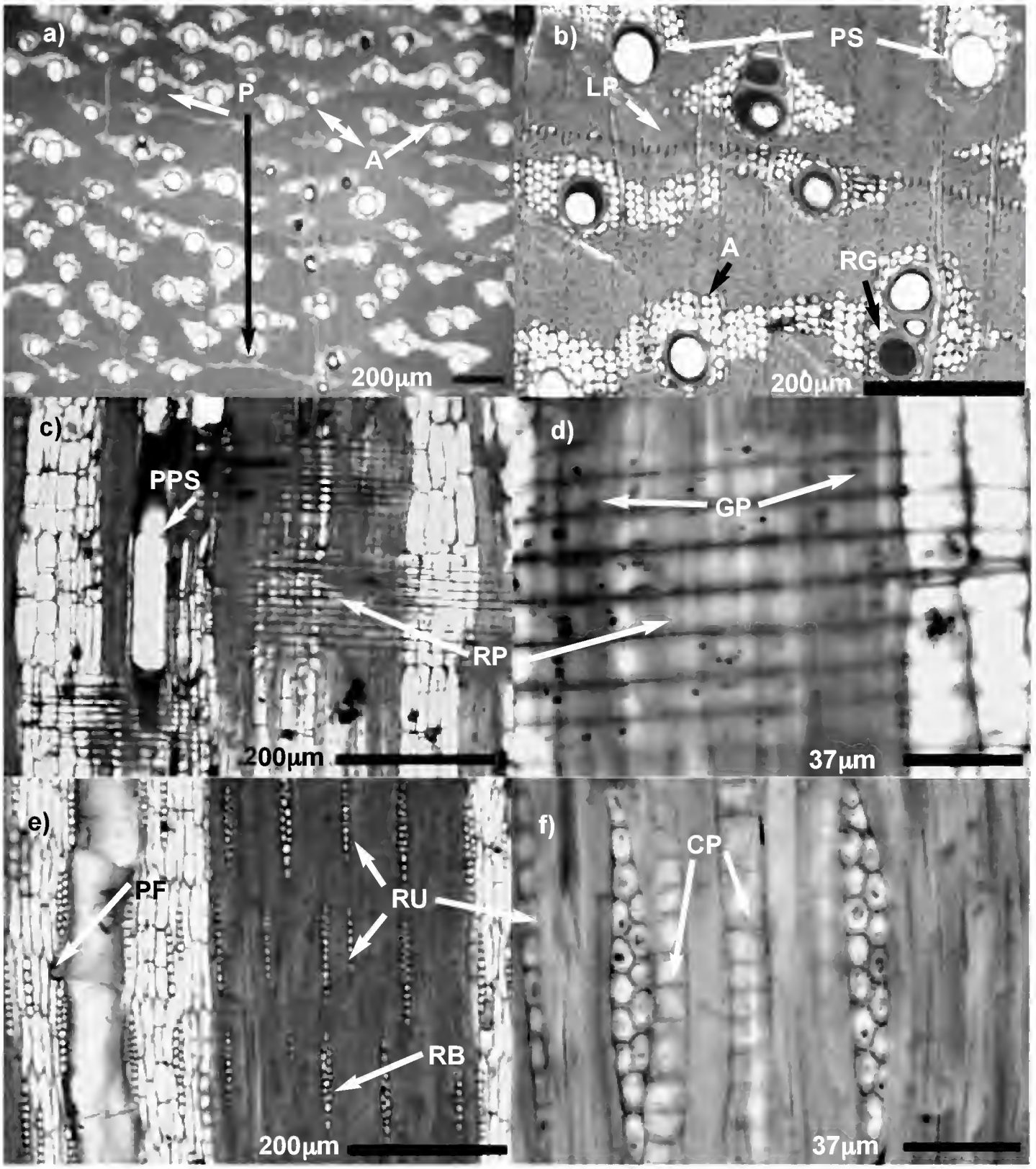

Figura 2. Cortes transversal (a y b), radial (c y d) y tangencial (e y f) en *Caesalpinia gaumeri* Greenm. PS = Poro solitario, PG = Poro con goma, LP = Líneas de parénquima, A = Parénquima paratraqueal aliforme y confluente, PPS = Placa de perforación simple, GP = Goma en parénquima, RP = Rayos procumbentes, PF = Parénquima fusiforme, RU = Radio uniseriado, RB = Radio biseriado, CR = Cristal romboidal.

En el material disociado, las fibras por su longitud y diámetro del lumen son medianas, por el diámetro total son finas y por el grosor de la pared celular son extremadamente gruesas (Tabla 1, Figura 3a y b). Los elementos de vaso por su longitud se clasifican como extremadamente cortos (Tabla 1, Figura 4b y c), en algunos casos presentan cola (Figura 4a). Las punteaduras en la pared de los elementos vasculares son areoladas alternas (Figura 4d, e y f), con un diámetro promedio de 4.8 µm que se clasifica como pequeño (Tabla 1).

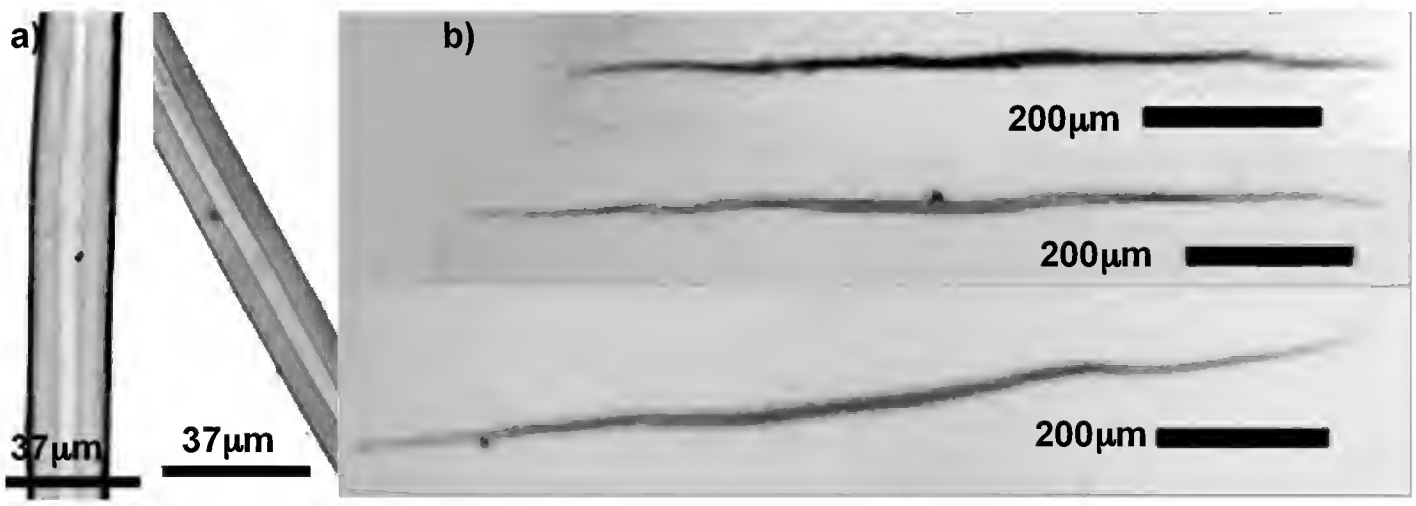

Figura 3. Fibras en *Caesalpinia gaumeri* Greenm. a) Lumen y pared, b) Longitud.

Tabla 2. Propiedades físicas de *Caesalpinia gaumeri* Greenm.

Propiedad física	Media	Clasificación
Db (g cm-3)	0,86	Pesada (0,75-0,95 g cm-3)[1]
D0 (g cm-3)	0,96	Muy pesada (>0,95 g cm-3)[1]
%CH	52,04	Verde (>PSF)[2]
%βVt	11,90	Media (10-15 %)[3]
%βT	9,27	Mediana (8-11 %)[4]
%β	A 0,33	
%βR	4,65	Mediana (8-11 %)[4]
PSF (%)	16,49	Bajo (<25 %)[5]
V (%)	0,78	Muy alto (>0,63 %)[6]
A	1,99	Estable (1,5-2,0)[7]

1 = Vignote y Jiménez (1996), 2 = Díaz (1960), 3 = Echenique *et al.* (1975), 4 = Negrete (1970), 5 = Novelo (1964), 6 = Fuentes-Salinas (1998), 7 = Ordoñez *et al.* (1990).

Contenidos celulares: las gomas están presentes en los elementos de vaso (Figura 2b) y en el parénquima radial (Figura 2d), también existen cristales de tipo romboidal en el parénquima axial (Figura 4f).

Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm., consignadas en este estudio, se clasificaron con diferentes tipificaciones, con el propósito de utilizar la fuente recomendada para cada propiedad. En la tabla 2 se puede observar que, en relación con sus propiedades físicas, la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm. es pesada con contracciones volumétricas y lineales medianas y estable.

DISCUSIÓN

Las características macroscópicas: diferencia de color entre albura y duramen, veteado pronunciado, brillo medio, hilo entrecruzado y textura media, así como las microscópicas: porosidad difusa y

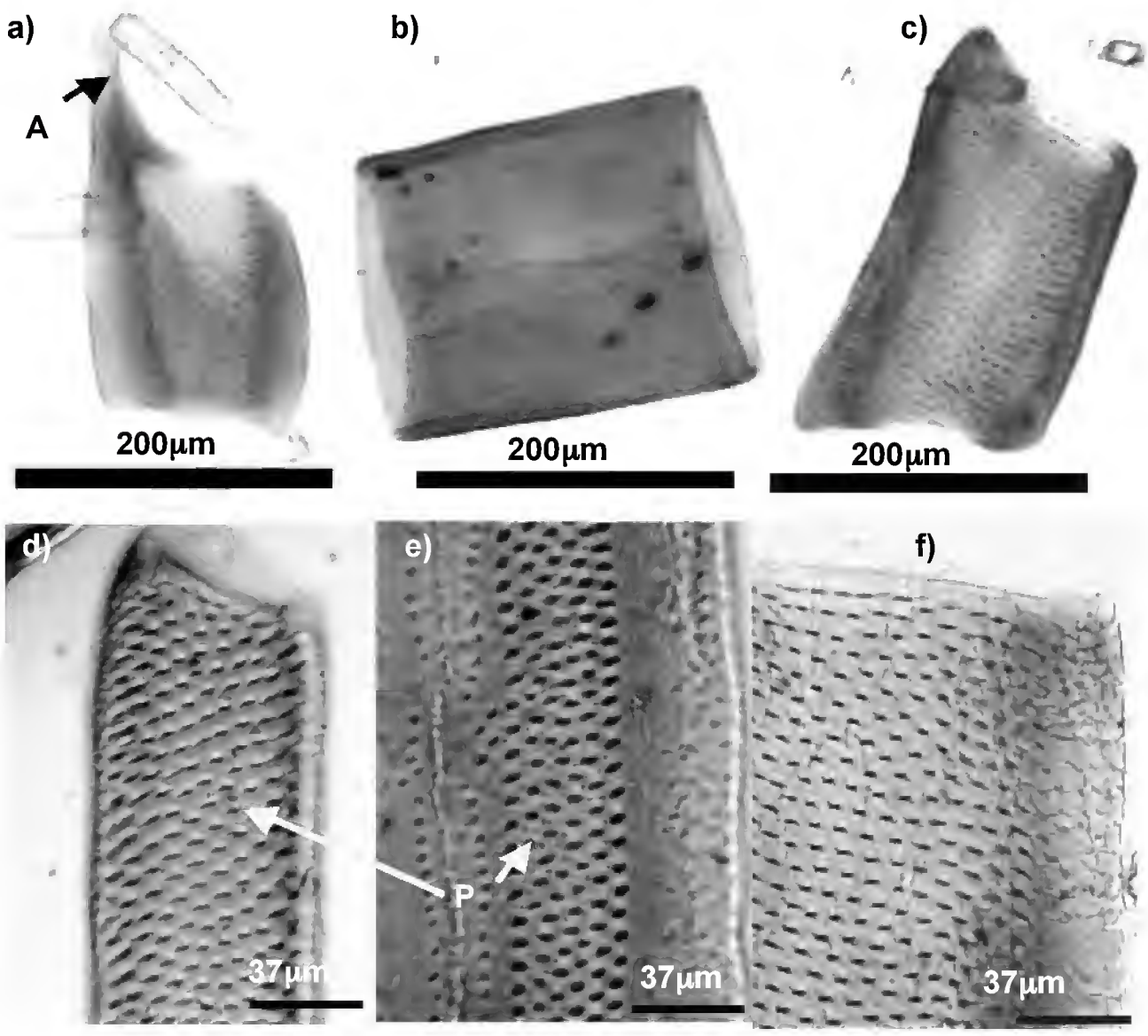

Figura 4. Elementos de vasos en *Caesalpinia gaumeri* Greenm. a) Cola (A); d, e y f) Punteaduras areoladas alternas.

parénquima aliforme, son semejantes a las encontradas en un estudio realizado para esta misma especie en una selva mediana subperennifolia de Quintana Roo (Rebollar *et al.*, 1996-1997). No obstante, el olor, sabor y color del duramen fueron distintos.

En un estudio realizado por Barajas-Morales (1985), para comparar las características anatómicas de la madera de especies que crecen en selva alta perennifolia y selva baja caducifolia se encontró que en el primer tipo de vegetación los colores de la madera son más pálidos, no hay transición entre el duramen y la albura y la dureza va de mediana a baja; mientras que en el segundo, el duramen de la madera es más oscuro (negruzco, verdoso o rojizo), la dureza es alta y hay una transición abrupta entre el duramen y la albura, además de que se presentan cristales y resinas. Lo anterior coincide con lo encontrado para *Caesalpinia gaumeri* en una selva baja caducifolia en Yucatán.

Varias de las características microscópicas registradas en este trabajo, coinciden con las referidas por Rebollar *et al.* (1996-1997); sin embargo, hay diferencias en el grosor de la pared de las fibras (extremadamente gruesas en los individuos de Yucatán y muy gruesas en los de Quintana Roo), en los rayos (extremadamente finos en los individuos de Yucatán y moderadamente finos en los de Quintana Roo) y en que algunos elementos de vaso presentan cola en las muestras de Yucatán; mientras que en las de Quintana Roo no está presente.

Estas diferencias pueden estar relacionadas con las condiciones ecológicas de crecimiento propias de los lugares de estudio, que para el caso de Yucatán son: selva baja caducifolia, con una altura promedio del dosel de 10 m, una precipitación anual de 1 200 mm y una temperatura media anual de 21,1 °C, suelos someros (2,7 cm): luvisoles (k'ankab; plano, de color rojo) y leptosoles (tzek'el, bo'ox lu'um; con afloramiento rocoso = 37 %) (García, 2004; White y Hood, 2004; García *et al.*, 2005), mientras que para Quintana Roo son: selva media subperennifolia, con una altura promedio del dosel de 20 m, una precipitación de 1 290 mm al año y una temperatura promedio de 26 °C, con suelos más profundos (6,9 cm) y menos rocosos (16%): leptosoles (tzek'el), luvisoles (k'ankab) y gleysoles (ak'alché) (Wrigth, 1967; SEGOB, 1987; García, 2004; White y Hood, 2004). Los gleysoles se caracterizan por retener mayor humedad, cuentan con mayor profundidad y no se encuentran en la zona de estudio (Yucatán), por lo que podría ser un factor determinante en la disponibilidad de humedad para el desarrollo de esta especie, de tal manera que sus estructuras celulares anatómicas tiendan a ser de menores dimensiones (por estar sometidas a estrés hídrico) en comparación con los árboles que crecen en el estado de Quintana Roo.

Desde el punto de vista tecnológico, el conocimiento de la anatomía de la madera nos permite hacer inferencias sobre sus propiedades físico-mecánicas, técnicas de procesamiento y utilización (León y Espinoza, 2001). De este modo, se ha visto que las maderas que tienen el hilo entrecruzado como *Caesalpinia gaumeri*, presentan resistencia mecánica (Rebollar y Quintanar, 2000), pero también pueden ser susceptibles de presentar arqueaduras y torceduras durante el secado (Kollmann y Coté, 1968), así como superficies de grano arrancado durante el taladrado y lijado (Ninin, 1985). Tecnológicamente, la característica de hilo entrecruzado permite que la madera mantenga la estabilidad del tronco en términos funcionales y, de acuerdo con Rebollar y Quintanar (2000), que sea adecuada para pisos,

construcción pesada, construcción de yates y decoración. Las maderas que presentan parénquima aliforme y confluente como *Caesalpinia gaumeri*, tienen mayor incidencia de grano arrancado al momento del cepillado o canteado (Lluncor, 1977), detalle que reduce su calidad para carpintería. Las maderas de densidades altas (pesadas), tienen fibras con paredes gruesas a muy gruesas, presentan mayor resistencia al corte y se requieren herramientas de aserrado con dientes más fuertes o robustos (Ninin, 1985); sin embargo, son de alta durabilidad natural, ya que cuentan con menos espacios vacíos, lo que minimiza el acceso del agua; además, el grosor de las paredes les confieren el peso y la dureza necesarias para su uso en construcción pesada. La presencia de gomas en las células de la especie en estudio, robustece las cualidades de dureza y durabilidad de la madera, que la hace resistente al deterioro (Rebollar y Quintanar, 2000), al ser estos extractivos tóxicos a los hongos que causan la pudrición (JUNAC, 1988).

Los rayos numerosos, extremadamente bajos y finos observados en *Caesalpinia gaumeri*, favorecen la resistencia al impacto y a la estabilidad dimensional. Rebollar y Quintanar (2000) sugieren que las maderas con esas cualidades, sean usadas para la elaboración de durmientes, para pisos, parquet, adoquín, lambrín, para manufactura de muebles, puertas, marcos para ventanas, artículos torneados y decoración de interiores.

De manera general se sabe que las maderas susceptibles de ser aprovechadas en la carpintería deben ser de color atractivo, rayos finos a medianos, grano recto, que presenten anillos de crecimiento, que tengan buenas características de cepillado, lijado, torneado y taladrado. Las maderas de densidad y durabilidad altas, son recomendables para ser utilizadas como durmientes, postes de cercas y pisos (León y Espinoza, 2001).

Por lo antes mencionado, en el caso de la madera de *Caesalpinia gaumeri*, se deben utilizar herramientas de corte más fuertes y el proceso de secado debe ser muy lento para evitar deformaciones. Esta especie no reúne las características deseables de la madera para carpintería, no obstante, por su resistencia, dureza y durabilidad ante agentes de deterioro debido al contenido de extractivos en la madera, se puede utilizar en la elaboración de durmientes, pisos, artesanías, marcos para ventanas y puertas, además del uso generalizado entre la población maya para la construcción de viviendas rurales y postes.

CONCLUSIONES

La madera de Kitimché, por sus características anatómicas (rayos numerosos, extremadamente bajos y finos e hilo entrecruzado) y propiedades físicas (densidad básica pesada), puede ser usada para la elaboración de durmientes, pisos, parquet, adoquín, lambrín, para manufactura de muebles, puertas, marcos para ventanas, artículos torneados y decoración de interiores; pero es susceptible de presentar arqueaduras y torceduras durante el secado, superficies de grano arrancado durante el taladrado, lijado, cepillado o canteado por su hilo entrecruzado y parénquima aliforme y confluente, lo que reduce la calidad de la madera para carpintería.

Las fibras con paredes gruesas a muy gruesas y la presencia de gomas en las células de la madera de *Caesalpinia gaumeri*, le confieren características tales como alta durabilidad natural, resistencia mecánica, resistencia al deterioro o

ataque de hongos que causan la pudrición, mismas que ya eran conocidas y aprovechadas por los habitantes mayas, para la construcción de viviendas rurales y postes.

Las diferencias y semejanzas básicas de las características anatómicas, en el caso de este estudio, reflejan que la madera es un material muy heterogéneo, aunque sea la misma especie no siempre va a presentar iguales características y propiedades.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada (169577) para realizar estudios de doctorado y al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (Comecyt) por la beca tesis (07BTD397) para concluir este documento.

BIBLIOGRAFÍA

Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. IAWA Bulletin n.s. 6:355-364.

Borja, de la R.A. y J.C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 3(1): 103-107.

Cob, U.J.V., D. Granados-Sánchez, L. M. Arias-Reyes, J. G. Álvarez-Moctezuma y G. F. López-Ríos. 2003. Recursos forestales y etnobotánica en la región milpera de Yucatán, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1):11-16.

Chattaway, M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. Tropical Woods 29: 20-28.

Díaz, G.V. 1960. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Unidad y Enseñanza e Investigación en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 119 p.

Duch, G.J. 1994. Los suelos, la agricultura y vegetación en Yucatán. *In*: Hernández X., E. Bello, S. Levy, comps. La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo I. p:97-107.

Echenique, R., J. Barajas, L. Pinzón y V. Pérez. 1975. Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Versión 1. Características tecnológicas de la madera de 10 especies. INIREB. 66 p.

Fuentes-Salinas, M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(1):221-229.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM-Instituto de Geografía. Serie Libros, Núm. 6, quinta edición. México. 91 p.

García, J., A. Mizrahi y F. Bautista. 2005. Manejo campesino de la selva baja y selección de especies arbóreas para barbechos mejorados en Hocabá, Yucatán. In: Bautista, F. y G. Palacio (eds.). Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales.

Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. Pp.195-208.

Harold, W. y Jr. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.

IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee. 1939. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. Tropical Woods 59:51-52.

IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee. 1989. List of macroscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin n.s. 10:219-332.

Jane, F.W. 1970. The structure of wood. Segunda edición. Adam and Charles Black. Londres. 478 p.

JUNAC. 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú. 430 p.

Kollmann, F. y W. Coté. 1968. Principles of Wood Science Technology I Solid Wood. Springer-Verlag. Nueva York. Pp. 183-189.

León, H.W. y N. Espinoza de Pernía. 2001. Anatomía de la madera. Primera edición. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida, Venezuela. 397 p.

Levy, T.S. y E. Hernández X. 1994. Aprovechamiento forestal tradicional de los hubches en Yucatán. In: Hernández X., E., E. Bello y S. Levy T. (comps.). La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados, México. Tomo I. Pp. 247-270.

Lluncor, D. 1977. Relaciones entre las características de cepillado de algunas maderas de Venezuela y sus propiedades físico-mecánicas y anatómicas. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida, Venezuela. 90 p.

Motic Images version 1.3 Software. 2003. Cámara Moticam modelo 1000. National Optical and Scientific Instruments, Inc.

Munsell Color Company. 1975. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17 p.

Navarro-Martínez, J., A. Borja-de la Rosa y R. Machuca-Velasco. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1):73-82.

Negrete, L.J. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encino (*Quercus*) del estado de Michoacán. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, Texcoco, México. 65 p.

Ninin, L. 1985. Manual de aserrado y afilado. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Publicaciones. Mérida, Venezuela.

NMX-EE-117-1981. Envase y embalaje. Determinación del peso específico aparente en maderas. Secretaría de

Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. 8 p.

Novelo, G.G. 1964. Aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales con base en sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, Texcoco, México.

Ordóñez, V., G. Bárcenas y A. Quiroz. 1990. Características físico-mecánicas de la madera de 10 especies de San Pablo Macualtianguis, Oaxaca. Boletín Técnico núm. 21 (LACITEMA). Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz. 29 p.

Rebollar D.S., C. Pérez-Olvera y A. Quintanar I. 1996-1997. Anatomía de la madera de ocho especies de la selva mediana subperennifolia de Quintana Roo, México. Revista de Biología Tropical 44(3)/45(1):67-77.

Rebollar, S. y A. Quintanar. 2000. Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. Revista de Biología Tropical [online]. 4 (2-3):569-578 [citado 05 Julio 2009] http://www.scielo.sa.cr /scielo.php?script=sci_arttext&pid=S 0034-77442000000200028&Ing =es&nrm=iso

SEGOB. 1987. Los Municipios de Quintana Roo. Secretaría de Gobernación/Gobierno de Quintana Roo. Pp. 23-28.

Terrazas S.T. 1984. Proposición para clasificar el tamaño de algunas estructuras de madera de angiospermas mexicanas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 73 p.

Toledo, V.M., N. Barrera-Bassols, E. García-Frapolli y P. Alarcón-Chaires. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). Interciencia 33(5):345-352.

Tortorelli, L.A. 1956. Madera y Bosques Argentinos. ACME. Buenos Aires. 910 p.

Vignote, S. y F. Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 606 p.

Wilcox, D., B. Dove, D. McDavid y D. Greer. 2002. Image tool for windows version 3.0. The University of Texas Health Science Center in San Antonio. San Antonio, Texas. EUA. 55 p.

White, D.A. y Hood C.S. 2004. Vegetation patterns and environmental gradients in tropical dry forests of the northern Yucatan Peninsula. Journal of Vegetation Science 15:151-160.

Wrigth, A.C.S. 1967. El reconocimiento de los suelos de la Península de Yucatán, México. Informe final a la FAO. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 43 p.

Manuscrito recibido el 29 de julio de 2009
Aceptado el 9 de marzo de 2010

Este documento se debe citar como: Interián-Ku, V.M., M.A. Borja de la Rosa, J.I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares y H. Vaquera-Huerta. 2011. Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. *Madera y Bosques* 17(1):23-36.

ARTICULO DE INVESTIGACION

Strength properties and natural durability of Avocado (*Persea americana* Mill.) branch wood

Propiedades de resistencia y durabilidad natural de la madera de ramas de aguacate (*Persea americana* Mill.)

F.J. Fuentes-Talavera[1], J.A. Silva-Guzmán, R. Rodríguez-Anda, M.G. Lomelí-Ramírez, R. Sanjuán-Dueñas y H.G. Richter

ABSTRACT

This paper reports on mechanical properties and natural durability of avocado branch wood (*Persea americana* Mill.) with the objectives of providing a reliable property profile and to promote the rational use of this abundant yet largely neglected natural resource. The mechanical properties (static bending, compression, shear, impact bending) and hardness were determined in accordance with European standards (CEN). Natural durability was assessed according to the European standard EN 350-1 (agar block test) using the white rot fungi *Trametes versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium*, and the brown rot fungus *Postia placenta*. Avocado trees yield a low to medium density (0,44-0,54-0,64 g/cm^3 at 12% mc) branch wood with below average strength under static bending, compression and tension parallel to the grain and average values for longitudinal shear, impact bending and hardness. The wood is rated non-resistant (class 5 according to EN 350-1) and thus is not suitable for exterior applications unless treated. Considering its property profile and the small dimensions available, avocado wood is recommended for general carpentry, furniture, interior paneling, glue-boards for closets and cabinets, and glue-lams for indoor framework.

KEY WORDS:
Persea americana, *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Postia placenta*, branch wood, density, strength properties, natural durability, uses.

RESUMEN

Este artículo presenta información sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad natural de madera de las ramas de aguacate (*Persea americana* Mill.) con los objetivos de proporcionar un perfil de propiedades confiable y promover el uso racional de este recurso natural abundante pero en gran parte abandonado. Las propiedades mecánicas (flexión estática, compresión, cortante, resistencia al impacto) y dureza se determinan de conformidad con las normas europeas (CEN). La durabilidad natural se evaluó de acuerdo con la norma europea EN 350-1 (prueba de bloque de agar) utilizando los hongos de pudrición blanca *Trametes versicolor* y de hongo de pudrición parda *Phanerochaete chrysosporium*. Árboles de aguacate producen una madera de rama de baja a mediana densidad (0,44-0,54-0,64 g/cm^3 en 12% mc) con valores medios a bajos de flexión estática, compresión y tensión paralela a la fibra y valores medios de resistencia al cortante longitudinal, impacto y dureza. La madera se considera como no resistente (clase 5 según EN 350-1) y por lo tanto no es apta para aplicaciones en el exterior a menos que esté tratada. Teniendo en cuenta su perfil de propiedades y las pequeñas dimensiones disponibles, la madera de aguacate se recomienda para carpintería

1 Corresponding author: F.J. Fuentes Talavera (ffuentes@dmcyp.cucei.udg.mx)
Departamento de Madera, Celulosa y Papel. CUCEI. Universidad de Guadalajara. Apdo. Postal 52-93. C.P. 45020 Zapopan, Jalisco, México. http://dmcyp.cucei.udg.mx.

general, muebles, decoración interior, placas encoladas para armarios y archivadores y madera laminada para usos interiores.

KEY WORDS:
Persea americana, Trametes versicolor, Phanerochaete chrysosporium, Postia placenta, branch wood, density, strength properties, natural durability, uses.

INTRODUCTION

In Mexico, approximately 101 882 ha are planted with avocado trees for fruit production. About 89% pertain to the commercially most important variety "Hass", the remaining 11% to other varieties, including the wild or "criollo" form (SIACON, 2006). Thanks to this large and growing plantation area, Mexico has become the major avocado producer worldwide with slightly over one million metric tons of fruit in 2003 (FAO, 2006) of which about 75% are consumed in the country and 25% (slightly over US$ 400 million) exported, mainly to the United States of America (Del Castillo, 2008).

The largest area, 86 538 ha or 84% of the total area of avocado orchards planted in Mexico and responsible for 25% of worldwide fruit production (Del Castillo, 2008), is located in the state of Michoacan, mainly of the Hass variety (95%), with a great diversity as regards age, productivity and phytosanitary conditions. These plantations are frequently subject to thinning, coppicing, felling and replanting operations, which yield a considerable volume of wood that is largely moved to the plantation boundaries and burned or left to rot.

There are no statistical data that would allow a reliable calculation of the wood volume per hectare/year available from such coppicing and clearing operations in avocado plantations. However, taking an avocado orchard in Jujucato, Michoacán, as a fairly typical example for size (4 ha) and number of trees (125/ha) as well as tree age (from 14 to 30 years) and sound coppicing practices, the potentially available volume of wood can be estimated by extrapolation as follows: Assuming that coppicing of a tree yields 12 (Silva, 2009, personal communication) small logs of 1m in length and 20 to 25 cm in diameter (0,38 to 0,59 m^3 per tree) and 10% of the trees/ha are subject to coppicing each year, the yield is 4,75 to 7,36 m^3/ha/year. Further assuming that about 50% (slightly over 50 000 ha) of the productive avocado plantations in Mexico are subjected to such cleaning operations, the total wood volume expected per year could amount to between 237 500 to 368 000 m^3.

The rational utilization of this byproduct of avocado fruit production could be greatly enhanced by providing reliable scientific information about the timber's biological and technological properties as well as appropriate end uses.

Avocado wood is easy to work in all machining operations and finishes smoothly (Martínez y Martínez, 1996). Fuzzy grain may occur due to the presence of tension wood often present in branch wood. Based on its tangential and radial shrinkage values the wood is rated moderately stable and movement in service is expected to be low with little risk of deformation of manufactured goods within the relative humidity range (35% to 85% RH) to which wood is usually exposed in service (Fuentes *et al.*, 2002). Avocado wood is also considered a suitable raw material for pulping and papermaking. Paper produced from this material has physical and mechanical properties similar to that made with eucalypt (*Eucalyptus grandis*) fibers (Vargas *et al.*, 2006).

As regards strength properties of avocado wood, there is very little informa-

tion available from literature. Echenique y Plumptre (1990) and also the Prospect (1997) database report on strength properties in a very general way without giving numerical values for means and variation. The same authors classify *Persea americana* heartwood as not durable or class IV according to EN 350-2 (CEN, 1994).

The objective of this study is to provide the potential users of this raw material with reliable numerical data on its elastic and strength properties in order to facilitate decisions as to where and in what form avocado wood from coppicing operations can be put to appropriate use. Further, the question whether this material consists entirely of sapwood (generally rated perishable = class V) or contains appreciable portions of heartwood (class IV) was analyzed by means of macro and microscopic observation (presence vs. absence of tyloses) and a bioassay to evaluate its resistance against decay producing white and brown rot fungi.

MATERIAL AND METHODS

Logs, approximately 100 cm in length and 20 to 25 cm in diameter, were cut from a main branch of each of 10 trees coppiced during a clearing operation at an avocado orchard in Jujucato, Michoacán. Branch wood constitutes the only raw material commonly available from this operation whereas the coppiced stump is usually left in place for resprouting from stem buds. The trees were between 14 and 17 years old and had reached a total height of about 12 m. A two-inch thick disk was cut from each log for observations of wood structure and natural durability bioassays. The remainder was sawn into 50 mm thick radial boards, which were stacked and air-dried to equilibrium moisture content of approximately 10 %. From the dry boards test specimens were prepared in the dimensions required by the standards (table 1) employed for static bending, compression parallel to the grain, tension parallel to the grain, longitudinal shear, impact bending and hard-

Table 1 Standards employed for determining physical and mechanical wood properties (DIN, 1979).

DIN 52 182 Density
DIN 52 185 Compression parallel to the grain
DIN 52 186 Static bending
DIN 52 187 Shear parallel to the grain
DIN 52 188 Tension parallel to the grain
DIN 52 189 Impact bending
DIN C 3011 Hardness BRINELL (mathematical conversion to JANKA hardness according to the equation

$hardness_{JANKA} = (hardness_{BRINELL}-7.3) / 3.1$ (Schwab, 1990)

ness. Since the test specimens could not be conditioned in standard climate (20 °C, 65 % RH) prior to testing, the test results for MOR and MOE in bending, compression and tension as well as density were adjusted to 12 % mc in accordance with ASTM D-2915-94 (1998) and ISO 3131 (1975) standards, respectively.

The natural decay resistance of *P. americana* to decay fungi was evaluated with disks cut from five of the ten harvested logs according to the procedures described in the European standard EN 350-1 (CEN 1994). Specimen size was reduced to 2,5 x 2,5 x 1,0 cm^3 to accommodate more specimens per disk than would have been possible with the larger dimensions (2,5 x 1,5 x 5,0 cm^3) suggested in the standard. All specimens were oven-dried at 102 ºC to determine the initial dry weight (W1). The dry specimens were subsequently reconditioned the moisture saturated condition and steam-sterilized (15 min/121 ºC). The test fungi used were *Postia placenta (*Fries) M. Larsen & Lombard (brown rot); *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall and *Trametes versicolor* (L. Fries) Pilát (white rot). The fungi were grown on malt extract agar (MEA, 3,6 %) before inoculation. Ten replicates per fungus were conducted. Glass jars (225 ml) with 40 ml of malt extract agar (MEA, 3,6 %) were sterilized (30 min/121 ºC) and the fungal inoculum deposited on the MEA surface. The glass jars were incubated (27 ºC/70 % RH) until the mycelium completely covered the agar surface. The test specimens were then placed in the jars on two small capillary tubes (diameter 1,5 mm) to separate the agar from the wood surface. Ten non-inoculated specimens served as controls in both test series. Specimens of the non-durable wood of Mexican aile (*Alnus acuminata*) were used as reference to verify the respective white and brown rot fungi's capacity of degrading wood.

The jars with the test specimens were incubated in a decay chamber at 27 ºC and 70 % RH for 12 to 16 weeks. At the end of that period the specimens were taken out of the jars, cleaned carefully, weighed and subsequently oven-dried to determine the final dry weight (W2). Weight loss (WL) was calculated as follows:

Statistical data analyses were conducted with the software package Statgraphics 5.0, making use of the simple (ANOVA) analysis of variance offered by the package.

RESULTS AND DISCUSSION

Density

The histogram presented in figure 1 depicts the density frequency distribution of all test specimens (N = 144). Normal density (adjusted to 12 % mc) shows a normal distribution (USDA Forest Service, 1999) within a range from 0,45 to 0,63 g/cm^3, an overall mean of 0,54 g/cm^3 and a coefficient of variation of 6,6 %.

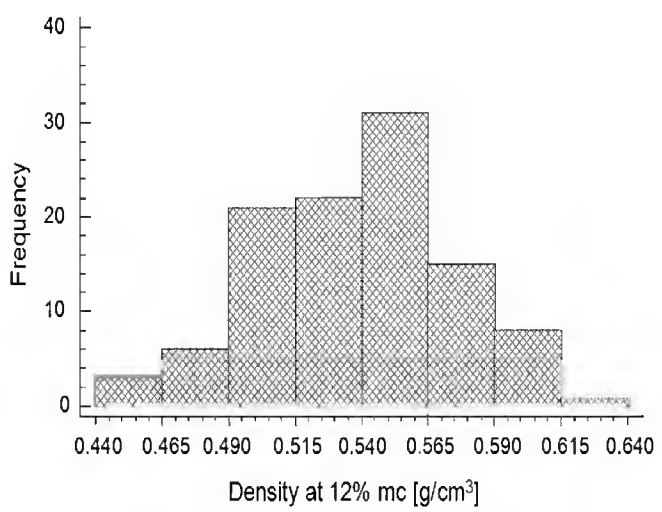

Figure 1 Density distribution of *Persea americana* branch wood

Table 2. Selected elastic and strength properties and density adjusted to 12% mc of *Persea americana* branch wood featuring the number of specimens per test (N); mean, minimum and maximum values; coefficient of variation (CV).

	Mean	Min	Max	CV [%]
Static bending (N = 33)				
MOR [N/mm²]	73	60	92	11
MOE [N/mm²]	5937	4328	8235	17
Density at 12% mc [g/cm³]	0,54	0,47	0,60	6
Compression parallel to the grain (N = 25)				
MOR [N/mm²]	35	23	47	15
MOE [N/mm²]	5548	3367	7611	20
Density at 12% mc [g/cm³]	0,45	0,44	0,51	8
Tension parallel to the grain (N = 23)				
MOR [N/mm²]	63	33	83	15
MOE [N/mm²]	6679	4163	11056	20
Shear parallel to the grain (N = 13)				
Shear strength [N/mm²]	9	7	13	21
Density at 12% mc [g/cm³]	0,58	0,55	0,65	4,5
Impact bending (N = 25)				
Impact bending strength [kJ/m²]	42	25	63	23
Density at 12% mc [g/cm³]	0,54	0,49	0,62	6
Hardness BRINELL/JANKA1 (N = 25)				
Transverse [N/mm²]	39/10,2	31/7,6	53/14,7	14
Side [N/mm²]	20/4,2	14/2,2	27/6,4	23
Density at 12% mc [g/cm³]	0,51	0,48	0,57	11

[1]BRINELL values / mathematically converted to JANKA hardness (Schwab, 1990)

Table 3. Comparison of selected physical and mechanical properties of *Persea americana* branch wood with Mexican commercial timbers and other *Persea* species.

	Density [g/cm³] at 12% mc	Static bending [N/mm²]		Compression [N/mm²]	Tension [N/mm²]	Impact bending [kJ/m²]	Shear [N/mm²]	Hardness	[N/mm²]
		MOR	MOE	MOR					
Aguacate (*Persea americana*)	0,54	73	5937	35	63	42	9	39	20
Cedro (*Cedrela odorata*)[1,4]	0,34	37	5200	19	n.d.	37	5	n.d.	16
Parota (*Enterolobium cyclocarpum*)[2]	0,38	43	4596	24	41	34	6	27	15
Melina (*Gmelina arborea*)1	0,48	54	5900	26	n.d.	n.d.	9	145	17
Caoba (*Swietenia macrophylla*)[2,4]	0,50	83	8800	44	n.d.	51	13	38	17
Pino colorado (*Pinus durangensis*)[3]	0,53	98	11400	49	117	37	11	39	14
Habillo (*Hura polyandra*)[2]	0,60	94	9660	47	104	66	12	41	28
Persea spp.[6,7]	0,55	72-90	11500	43-48	n.d.	n.d.	11	n.d.	19-20

[1] Lavers (1983); [2] Bravo y Fuentes (1993); [3] v. Roth and Rechy (1986); [4] Sell (1989); [5]Rivero M. (2004); [6] Wood Explorer (2009); [7]USDA Forest Service (2009); n.d. = no data available

Compared to some of the more common structural timbers in Mexico such as pino colorado (*Pinus durangensis*) (v. Roth & Rechy, 1986), habillo (*Hura polyandra*) (Bravo & Fuentes, 1993), caoba (*Swietenia macrophylla*) (Richter & Oelker, 2002; Sell, 1989) and other *Persea* species (Wood Explorer, 2009; USDA Forest Service, 2009) in the same density range, avocado branch wood is below average in bending, compression and tension. However, the values obtained compare favorably with lighter weight nonstructural timbers such as melina (*Gmelina arborea*) (Obregón, 2009; Rojas *et al.*, 2004; Fujiwara *et al.*, 1996), cedro (*Cedrela odorata*) (Escobar *et al.*, 1993; CIRAD-Forêt, 2009) and parota (*Enterolobium cyclocarpum*) (Bravo & Fuentes, 1993) (Table 3).

As for impact bending, shear and hardness, avocado branch wood possesses properties commensurate with its density comparable to those of the structural timbers listed in table 3. The dispersion of the values encountered and reflected in the coefficients of variation (CV; table 2), is of an acceptable magnitude and somewhat below the levels reported by the USDA Forest Service (1999) for some mechanical properties of clear wood. Taking into account that the studied material is branch wood, a higher variability of elastic and strength properties would have to be expected according to Bowyer *et al.* (2003).

Wood structure and natural durability

General macroscopic and microscopic features of *Persea americana* wood were reported earlier (Silva *et al.*, 1999). In the context of the present study, observations focused on the presence or absence of tyloses in the investigated material. The results, obtained from radial strips extending from pith to bark, were negative throughout, *i.e.* no tyloses were detected. Since the formation of tyloses in heartwood is a mandatory character of all taxa pertaining to the family of Lauraceae (Richter, 1981), the lack of this feature indicates that the material obtained from coppicing operations in avocado orchards is essentially all sapwood.

This observation was confirmed by the accompanying bioassay in which the wood under study was tested under exposure to decay-producing fungi according to the European standard EN 350-1 (CEN, 1994). The mass losses recorded for the white rot fungi *Trametes versicolor* and *Phanerochaete chrysosporium* was 61% and 46%, respectively, that for the brown rot fungus *Postia placenta* 32% (Table 4). These mass losses are of the same magnitude as those recorded for the aile (*Alnus acuminata*) reference wood considered highly susceptible to fungal decay (Lomelí & Fuentes, 1997; Sachsse & Schulte, 1991). Accordingly, since mass losses are larger than 30% for all three fungi, the studied material is rated perishable (class V according to DIN-EN 350-1; CEN, 1994) and is expected to have a short service life under exterior and other decay-producing conditions unless preservative treated.

Analysis of possible end uses

In light of its fairly high hygroscopicity (Fuentes *et al.*, 2002) and susceptibility to wood staining and decaying fungi, avocado branch wood generated from coppicing operations is unsuitable for exterior use unless properly protected.

Traditional uses of avocado wood include, for instance, sawn timber, firewood, turned articles, structural parts of guitar bodies (Rogel, 1982), light construction, flooring, furniture, general carpentry works and rotary veneer for

plywood (Chudnoff, 1984). For the state of Michoacán, Guridi (1980) mentions wooden elements used in the manufacture of violins and guitars, whereas Pennington & Sarukhán (1998) refer to light construction and turned objects.

Some of these traditional uses can be confirmed, such as structural non-resonance elements for string instruments, turnery and furniture parts. On the other hand, to use avocado branch wood for structural members cannot be recommended for two reasons: *a)* its elastic and strength properties in bending, compression and tension are low and its load bearing capacity very limited; *b)* the dimensions (length, diameter) of the generally available material do not allow the manufacture of larger elements like beams, trusses and posts. Similarly, the low side hardness of avocado branch wood does not make it a commendable choice for flooring (parquet, solid wood and upper layer of prefab composites) as the wood surface is likely to deteriorate rapidly under the abrasive and compressive forces to which even light traffic floors are commonly subjected.

Low grade avocado branch wood can be converted into packaging materials (boxes, crates, etc.) or chipped for use in pulp and paper making (Vargas *et al.*, 2006) and manufacture of wood composites (MDF, particle board). Given its good machining properties (Echenique & Plumtre, 1990; Martínez & Martínez, 1996), its moderate movement in service (Fuentes *et al.*, 2002; USDA Forest Service, 1999) and ease of gluing (Wood Explorer, 2009), good quality avocado branch wood has considerable utilization potential. It would be a natural choice to be adopted by the Mexican furniture industry as a substitute for costly imports from South and North America for the production of home furnishing items, chairs, small radio-stereo-TV cabinets, kitchen cabinets, etc. The manufacture of solid wood composites such as glue boards and glue-laminated scantlings would greatly increase the profitable utilization of the available raw material for value-added products such as fronts and sides of closets, larger cabinets, shelves, partitioning walls, interior paneling, door frames, etc. The required technology for primary conversion of small logs, drying, jointing

Table 4. Weight losses of *Persea americana* branch wood and *Alnus acuminata* (reference species) after a 12 to 16 week exposure to white rot (*Trametes versicolor, Phanerochaete chrysosporium*) and brown rot (*Postia placenta*) decay fungi.

	Weight loss [%]	*T. versicolor* [1]	*P. chrysosporium*	*P. placenta*	Controls
Persea americana	Mean	60.45	45.22	32.53	0.43
	Min	58.74	44.04	31.80	0.40
	Max	61.39	46.41	33.51	0.45
	CV	1.82	1.96	1.71	5.2
Alnus acuminata	Mean	60.91	45.57	36.10	—
(reference)	Min	58.49	43.91	35.40	—
	Max	63.19	46.97	37.46	—
	CV	1.99	2.50	2.06	—

[1]12 week exposure time; for the other fungi and controls the exposure time was 16 weeks

and gluing is available in the market and the ensuing investments will no doubt pay off in the long run as has been proven with other wood byproducts from agricultural crops such as the sustainable, eco-friendly rubber wood (*Hevea brasiliensis*) emanating from latex producing plantations in Southeast Asia (Hong, 1996).

CONCLUSIONS

Persea americana (avocado) branch wood possesses strength properties in the low to medium range which largely limits its utilization to non-structural applications. It is also highly susceptible to biological degradation by decay fungi and should therefore be employed only under conditions protected from drastic moisture changes in order to guarantee a reasonable in-service performance.

By means of an adequate conversion technology, *i.e.* reduction and reconstitution to larger dimensions by appropriate jointing and gluing techniques, the raw material has considerable potential for general carpentry and, particularly, the Mexican furniture industry as a reasonable alternative for exotic timbers imported at high cost from other regions of the globe.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Ms Olaya Guzmán, owner of the avocado orchard at the village of Jujucato, for donating the raw material used in this study and providing the necessary infrastructure for its acquisition.

REFERENCES

ASTM D 2915-94. 1998. Standard practice for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber. Annual Book of ASTM Standards. Section 4. Construction. Volume 04.10 Wood:397–408.

Bowyer J.L., R. Shmulsky y J.G. Haygreen. 2003. Forest Products and Wood Science. Iowa State Press, 4th edition. Iowa, U.S.A. 554 p.

Bravo G., L.R. y F.J. Fuentes T. 1993. Composición química y propiedades de algunas maderas mexicanas. Memorias del I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. UAAN. Saltillo, Coahuila, p. 89.

Chudnoff, M. 1984. Tropical Timbers of the World. USDA Forest Service, Agriculture Handbook #607. Forest Products Laboratory, Madison, WI. 464 p.

CEN - European Committee for Standardization. 1994. Standard EN 350-1/2. Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood. Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.

CIRAD-Forêt 2009: Fiches techniques. TROPIX 6.0. CIRAD Forestry Department, Montpellier, France, online at http://tropix.cirad.fr/index.htm. Consulted June 2009.

Del Castillo, A. 2008. Michoacán: la fiebre del "oro verde". Nota periodística publicada en el periódico Público, Guadalajara, año 12, No. 4088, p. 6-8.

Echenique-Manrique R. y R.A. Plumptre. 1990. A guide to the use of Mexican and Belizean timbers. Oxford Forestry Institute, Department of Plant

Sciences. University of Oxford. Oxford, England. 196 p.

Escobar, C.O., J.R. Rodríguez y J.A. Correa. 1993. Las maderas en Colombia –fichas técnicas. Universidad Nacional de Colombia– SENA. Available online at http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html. Consulted June 2009.

DIN. 1979. Taschenbuch der Holznormen No.31. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln. 203 p.

FAO. 2006. Major food and agricultural commodities and producers. Databases FAOSTAT, online at: http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html?lang=en&item=572&year=2005. Consulted June 2009.

Fuentes T., F.J., J.A. Silva G., M.G. Lomelí R., H.G. Richter y R. Sanjuán D. 2002. Comportamiento higroscópico de la madera de *Persea americana* var. *guatemalensis* Mill. (Hass). Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(1):49–56.

Fujiwara, T., T. Fujii, T. Shiibayashi, T. Suzuki y Y. Hayashi. 1996. Construction of Database on Properties of Woods from Southeast Asia. The International Conference on Forest Products, Bangkok, Thailand, 17-22 December, online at: http://www2.ffpri.affrc.go.jp/fdb/esawoodq/wood.html. Consulted June 2009.

Guridi G., L.I. 1980. La madera en las artesanías del estado de Michoacán. Bol. Div. No.50, Inst. Nac. Invest. For. México, D.F. 132 p.

Hong, L. T. 1996. Rubberwood utilization – a success story. Paper presented at the 20th IUFRO World Congress, Tampere, Finland, online at http://www.metla.fi/iufro95abs/rsp19.htm. Consulted June 2009.

ISO 3131. 1975. Wood. Determination of density for physical and mechanical tests. International Standard Organization, Geneva, Switzerland. 2 p.

Lavers, G.M. 1983. The strength properties of timber. Building Research Establishment Report, 3rd edition. 60 p.

Lomelí R., M.G. y F.J. Fuentes T. 1997. Biodeterioro de la madera de aile y aguacate por los hongos xilófagos. Memoria VI. Congreso Nacional de Micología, Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas, México. p. 59-60.

Martínez P., C.E. y J.L. Martínez C. 1996. Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. Madera y Bosques 2(1):11–27.

Obregón S., C. 2009. *Gmelina arborea*, versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro. Revista El Mueble y la Madera, Bogotá, Colombia. Serie "Especies", edición especial. p. 14-20.

Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Ediciones Científicas Universitarias. Serie Texto Científico Universitario. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 521 p.

Prospect. 1997. The Wood Database, Version 2.1 en CD ROM, Forestry Oxford Institute. University of Oxford, Oxford, England.

Richter, H.G. 1981. Die Anatomie des Sekundären Xylems und der Rinde der Lauraceae. Abhandl. Naturw. Verein, Hamburg, No. 25, 152 S.

Richter, H.G., M. Oelker y G. Kraemer 2002. macroHolzdata Datenbank Computer-gestützte makroskopische Holzartenbestimmung sowie Informationen zu Eigenschaften und Verwendung von Nutzhölzern. CD-ROM, Holzfachschule Bad Wildungen, Eigenverlag.

Rogel G., Ma. de los A. 1982. Estudio anatómico de 6 especies tropicales. Boletín Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales 89:37-41.

Rojas R., F., D. Arias A., R. Moya R., A. Meza M., O. Murillo G. y M. Arguedas G. 2004. Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 314 p. Available online at (www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf). Consulted June 2009.

Roth V., W. y M. Rechy, 1986. Important structural properties of *Pinus durangensis* Martínez. Holz als Roh- und Werkstoff 44:41-46.

Sachsse, H. y A. Schulte. 1991. Wood properties of the Andes alder (*Alnus acuminata*). Forstarchiv 62(5):196-199.

Schwab, E. 1990. Die Härte von Laubhölzern für die Parkettherstellung. Holz als Roh- und Werkstoff 48:47-51.

Sell, J. 1989. Eigenschaften und Kenngrö,en von Holzarten. Baufachverlag Lignum. 51 p.

SIACON. 2006. Anuario estadístico de la producción agrícola. 2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. Available online at: http://w3.siap.sagarpa.gob.mx:8080/siiap_apb/. Consulted June 2009.

Silva G., J. A., F.J. Fuentes T., H.G. Richter, G. Ángeles A. y R. Sanjuán D. 1999. Estructura de la madera de *Persea americana* var. *guatemalensis* Mill. (Hass.). Madera y Bosques 5(1):53-59.

USDA Forest Service. 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR-113.

USDA Forest Service. 2009. Technology Transfer Fact Sheets. Center for Wood Anatomy Research. Forest Products Laboratory, Madison/WI, USA, online at http://www2.fpl.fs.fed.us/. Consulted June 2009.

Vargas R., J., R. Sanjuán D., J.A. Silva G., J. Rivera P., F.J. Fuentes T. y H.G. Richter. 2006. Properties of bleached pulp sheets of avocado wood (*Persea americana* Mill.) pulped by kraft and soda processes. Madera y Bosques. 12(1):29-36.

Wood Explorer. 2009. Persea lingue fact sheet, online at: http://www.thewoodmarket.com/temp/we887.html . Consulted June 2009

Manuscrito recibido el 22 de febrero de 2010
Aceptado el 14 de enero de 2011

Este documento se debe citar como: Fuentes-Talavera, F.J., J.A. Silva-Guzmán, R. Rodríguez-Anda, M.G. Lomelí-Ramírez, R. Sanjuán-Dueñas y H.G. Richter. 2011. Strength properties and natural durability of Avocado (*Persea americana* Mill.) branch wood. *Madera y Bosques* 17(1):37-47.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años

Pinus elliottii natural regeneration in forest gaps: seven years population dynamics

Silvia L. Rebottaro[1], Daniel A. Cabrelli[1]

RESUMEN

Se evaluó la dinámica de la regeneración natural de *Pinus elliottii* (Engelm.) en claros silvícolas generados mediante una cosecha en fajas. Se probó el efecto de dos orientaciones: EO y NS, y tres tamaños de apertura: razón ancho de faja/altura de árboles de 0,5; 0,8 y 1,1. Las poblaciones fueron evaluadas a partir del segundo año de apertura del dosel durante siete años. Se cuantificó la densidad, el reclutamiento, la mortalidad y el crecimiento en diámetro y altura. Para caracterizar el ambiente luminico dentro de los claros se utilizó fotografía hemisférica del dosel, cuantificando la radiación relativa directa (Rd), indirecta (Ri) y total (Rt). En general, la densidad fue suficiente para iniciar un ciclo productivo (2,7 a 8,1 brinzales m^{-2}). La única condición limitante se encontró en el claro 0,5 con orientación NS (con radiación inferior al 55%), donde la densidad fue 0,2-0,3 plantas m^{-2}. Los claros 0,8 y 1,1 presentaron buen establecimiento, independientemente de su orientación, y presentaron un ingreso de radiación relativa superior al 65%. El reclutamiento se concentró durante invierno-primavera, mientras que la mortalidad fue más frecuente en primavera-verano. La condición más favorable para el crecimiento se presentó en el claro 1,1 con orientación E-O, en el que se registró una Rt=73%. Nueve años después de la apertura de los claros, el análisis de las plantas más grandes de cada población permitió establecer claramente las diferencias entre los tratamientos de apertura.

PALABRAS CLAVE:
Claros, crecimiento, mortalidad, *Pinus elliottii*, radiación solar, reclutamiento.

ABSTRACT

We evaluated the dynamics of *Pinus elliottii* (Engelm.) natural regeneration in silvicultural gaps after strip clearcutting. Two orientations: EW and NS, and three size of gaps: ratio strip width/hight tree of 0,5; 0,8 y 1,1 were analyzed. Density, recruitment, mortality, diameter and height of plants were monitored during seven years. The light environment was characterized using hemispherical photographs, and calculating relative radiation direct (Rd), indirect (Ri) and total (Rt). In general, plants density was enough to begin a productive cycle (2,7-8,1 plants m^{-2}). The only critical condition was generated in strip 0,5 with NS orientation (radiatión < 55%), where density was 0,2-0,3 plants m^{-2}. Whatever of the orientation, the strips 0,8 y 1,1 have good plants establishment, and relative higher than 65%. The recruitment was registered mainly during winter and spring. The mortality had more impact during spring-summer. More favorable condition for the growth was found in 1,1 strip with EW orientation, where Rt was 73%. Nine years after openning canopy, the analysis of tallest plants demonstrated differences between gaps.

KEY WORDS:
Gaps, growth, mortality, *Pinus elliottii*, solar radiation, recruitment.

1 Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, (CP 1417), Buenos Aires. Argentina. C.e.: rebottar@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

En el continente americano, el género *Pinus* tiene un área de dispersión natural en América del norte y parte de Centroamérica. Por lo tanto, los pinos no forman parte de las comunidades naturales en Argentina. Sin embargo, dos especies de este género ocupan la mitad de la superficie cultivada con especies forestales en el país: *Pinus elliottii* var. *elliotttii* Engelm. y *Pinus taeda* Lin. (SAGyP, 1999). Ambas son originarias del sudeste de Estados Unidos, y han tenido un excelente comportamiento en diferentes regiones del mundo, presentando una productividad elevada. Estas especies, principalmente *P. elliotti*, presentan un elevado potencial para regenerarse naturalmente en determinados ambientes. En Argentina, varios autores han reportado la existencia de rodales regenerados naturalmente con diferente grado de desarrollo (Lombardi, 1982; De Bellis, 1986; Cozzo *et al.*, 1988; Torres *et al.*, 1994). La regeneración es el puente entre la cosecha del rodal anterior y el establecimiento del nuevo. Pero, para transformarse en un recurso comercialmente aprovechable es necesario conocer diferentes aspectos de su comportamiento ecofisiológico.

La mayor información sobre regeneración natural de estos pinos proviene principalmente del área de origen (McCulley, 1950; Brewer y Linnartz, 1974; Langdon, 1981; Backer y Murphy, 1982; Edwards, 1987; Cain, 1987, 1988, 1991; Wheeler *et al.*, 1988; Cain y Barnett, 1994; Lloyd *et al.*, 1995). Los estudios preliminares llevados a cabo en Argentina a partir de los años de 1990, permitieron establecer algunas bases para el manejo de ese recurso. En primer término, uno de los factores que condicionan el éxito de la regeneración lo constituye la cantidad de semilla disponible. *P. elliottii* produce abundante semilla a partir de los 10 a 15 años de edad, presentando un patrón de producción cíclico (Daniel *et al.,* 1982; Lohrey y Kossuth, 1990). Este patrón ha sido detectado en Argentina (Rezzano *et al.*, 1997), donde además se registró que la mayor dispersión de semillas se concentra durante los meses de abril y mayo (otoño del hemisferio sur). Pocos meses después de su diseminación, la semilla viable en el suelo representa sólo 3% del total (Méndez, 1996). Otro estudio realizado en la misma zona (Cordeiro, 2004), mostró la poca importancia que tiene la semilla viable en el suelo pocos meses después de su dispersión. Por lo tanto, si se pretende favorecer el establecimiento de la regeneración natural es importante definir el momento en que se realizará la cosecha de los árboles semilleros.

El proceso sucesional de bosques nativos básicamente presenta tres fases: la perturbación, la invasión o regeneración y la madurez. Estos procesos también son definidos, en los términos de Whitmore (1989), como apertura, crecimiento y cierre del dosel. La perturbación genera claros de diferente forma y tamaño, y las primeras especies que ocupan esos claros, en general, son las heliófitas. Estas especies se caracterizan por su baja tolerancia a la sombra, pero poseen un alto potencial fotosintético frente a elevados niveles de radiación solar. A este grupo ecológico pertenece *P. elliottii*, cuya regeneración natural bajo dosel cerrado no logra superar el estado de plántula (Cabrelli *et al.*, 1997; Cordeiro, 2004; Cabrelli *et al.*, 2008). Por ello, todas las prácticas de manejo dirigidas a favorecer el crecimiento de la regeneración deben basarse en la remoción parcial o total del dosel.

Los métodos más comunes de corta de regeneración son: de selección, cortas sucesivas, árboles semilleros y matarrasa, ordenados de menor a mayor nivel de remoción del dosel (Brewer y Linnartz,

1974; Langdon, 1981; Edwards, 1987). El sistema de remoción total (o matarrasa) requiere contar con una cantidad mínima de semillas en el suelo en el momento de la corta, para poder alcanzar una densidad adecuada de plantas después de la cosecha. Cuando las características de la especie o del sitio determinan que la producción de semillas sea errática o las condiciones de sequía son frecuentes, es necesario mantener una fuente de semilla para asegurar el establecimiento (Edwards, 1987). Los métodos de remoción parcial presentan la ventaja de dejar árboles en pie, los cuales constituyen una fuente permanente de semilla, además del beneficio ambiental de ese tipo de intervención. Esto implica un arreglo espacial del área basal residual para regular las características de los claros, generando diferentes patrones de ingreso de radiación (Battaglia *et al.*, 2002). La competencia por luz y las diferencias entre especies respecto a su tolerancia son consideradas la llave que determina la estructura y dinámica de los rodales (Zavala *et al.*, 2007). De este modo, es posible manejar las condiciones microambientales para regular la emergencia, la sobrevivencia y el crecimiento de las diferentes especies. En este sentido, Cabrelli *et al.* (2002) encontraron que la sobrevivencia de plántulas de *P. elliottii* estuvo condicionada por la interacción entre la disponibilidad de agua y los niveles de radiación. La intensidad de radiación solar puede ser controlada variando la densidad de los árboles o las características de los claros. De este modo, el tamaño y la forma de las aperturas tendrán efecto sobre la dinámica de la vegetación que se establece dentro de las mismas (Canham 1989; Chazdon y Fetcher, 1984). Así, la geometría de los claros representa una herramienta en el manejo silvícola (Diaci, 2002).

Aunque los silvicultores reconocen la ventaja ambiental de las cortas parciales, prefieren efectuar la cosecha en una sola etapa debido a su menor costo. En este sentido, el costo de la cosecha podría reducirse si la misma se realiza mediante un diseño en fajas, ya que dicho diseño combina la aplicación de aperturas parciales con una alta eficiencia operativa en el campo. Los dos parámetros básicos del diseño de la cosecha parcial en fajas son la orientación y el ancho de las mismas, permitiendo regular el ingreso de radiación, y por lo tanto el microambiente condicionante de la dinámica de las poblaciones que crecen en ellas.

OBJETIVOS

El presente trabajo fue planteado sobre la base de principios que regulan la dinámica sucesional de especies leñosas en comunidades naturales, para aplicarlos a la silvicultura sostenible de una especie heliófita muy cultivada en Argentina. El objetivo general del estudio fue evaluar el efecto del claro sobre la dinámica poblacional de la regeneración natural de *P. elliottii*. Los objetivos especificos fueron evaluar el efecto de dos orientaciones y tres tamaños de claro sobre: *1)* la estructura poblacional, *2)* la densidad de plantas, *3)* el reclutamiento, *4)* la mortalidad, y *5)* el crecimiento en diámetro y altura de las plantas durante siete años.

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Yuquerí, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Concordia (31°22' S, 58°07' O, 47 msnm), provincia de Entre Ríos, Argentina. La región posee un clima templado a subtropical húmedo de llanura, con una tempe-

ratura media anual de 18,5 °C y una precipitación media anual de 1 274 mm distribuida durante todo el año, pero con algo de deficiencia hídrica durante parte de la primavera y del verano (SMN, 1992). La temperatura media del mes más frío (julio) es de 12 °C, y la del mes más cálido (enero) es de 25 °C. Los suelos son arenosos pardos, del grupo Hapludol fluvéntico (INTA, 1993), con textura superficial franco arenosa que puede variar hacia areno franca, con baja capacidad de retención hídrica. Son suelos de baja fertilidad química y bajo contenido de materia orgánica (Rebottaro *et al.*, 2004). La vegetación natural es un pastizal (Cabrera, 1976), pero se encuentra alterado por la actividad agrícola, ganadera, frutícola y forestal.

Tratamientos de apertura del dosel

La dinámica de la regeneración natural fue evaluada en claros silviculturales mediante un diseño espacial de cosecha en fajas, que consiste en cortar un grupo de hileras de árboles alternando con grupos de hileras sin cortar. Los claros fueron realizados en dos plantaciones de *P. elliottii* 18 años de edad, separadas entre sí por una calle cortafuego de 8 m. Las plantaciones habían sido establecidas a 3 m x 3 m, y fueron aclareadas a los 13 años. Al momento de aplicar los tratamientos de apertura del dosel las plantaciones tenían un promedio de 600 árboles por hectárea, dap de 28 cm y 22 m de altura. Mediante un experimento factorial con cinco repeticiones se probaron 6 tratamientos, resultantes de la combinación de dos orientaciones (Este-Oeste y Norte-Sur), y tres tamaños de fajas (12 m, 18 m y 24 m de ancho). El largo de las fajas fue de aproximadamente 80 m. El tamaño relativo de las fajas puede ser expresado mediante la razón entre el ancho de faja y la altura de árboles vecinos (Af/Aa), como fuera sugerido por Gray y Spies (1996). Los valores promedio de esa razón resultaron de 0,5; 0,8 y 1,1 para los respectivos tamaños probados. La cosecha de las fajas se efectuó entre abril-junio de 1996. En marzo de 1998 se instaló una parcela permanente en cada repetición. Debido a que el presente trabajo tuvo un objetivo de análisis poblacional, se eligió una parcela de forma rectangular (6 m x 2 m), con el fin de cubrir la posible variación a lo ancho de la faja. Se instalaron en total 30 parcelas (6 tratamientos x 5 repeticiones), y se midieron aproximadamente un total de 2 000 plantas a lo largo del estudio.

Ambiente lumínico en las aperturas

Para caracterizar el ambiente lumínico generado por la apertura parcial del dosel fue usada la técnica de la fotografía hemisférica (Anderson, 1964). Esta metodología permite tener una descripción de los claros y del ingreso de radiación solar mediante una fotografía del dosel. Un claro representa una apertura en el dosel extendido hasta 1 (Myers *et al.*, 2000) a 2 m sobre el nivel del suelo (Gray y Spies, 1996). Para el presente estudio, durante el primer y tercer año (1998 y 2000), se tomaron 3 fotografías por parcela, a una altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo. Para el anásilis de los resultados se tomó el valor promedio de los dos años. El material de campo consistió en una lente hemisférica "Fisheye" Nikkor 8 mm F/2.8, una cámara Nikon FM2, un Data Back Nikon MF-16, películas de 35 mm blanco y negro de 400 ASA. Cada fotografía fue digitalizada usando un escáner Coolscan Nikon LS-1000 y analizada mediante el programa HemiView 2.1 (1999). Las variables del programa utilizadas para la caracterización del dosel fueron: "direct, indirect y global site factor", definido por Anderson (1964). Estas son medidas de radiación relativa directa (Rd), indirecta (Ri) y total (Rt) bajo dosel, con respecto a la radiación sobre el dosel.

Mediciones en las plantas

El presente experimento forma parte de un proyecto mayor sobre regeneración natural de la especie. Para fines del presente estudio se evaluó la categoría de planta mayor a 25 cm de altura. En otros trabajos del proyecto fueron estudiados otros procesos como la dinámica de semillas, germinación, emergencia y sobrevivencia de plantas más pequeñas. El límite de 25 cm fue tomado principalmente por dos motivos. En primer lugar porque a partir de dicho límite se ha superado el estado de plántula y el individuo puede definirse como un brinzal establecido con al menos un año de edad. En segundo término, porque corresponde al tamaño más utilizado cuando se efectúa una plantación con coníferas en la zona del estudio. Bajo estas pautas, dentro de cada parcela toda planta que superaba el límite mencionado se identificó con una etiqueta de aluminio numerada. Dado que en NS-0,5 había baja densidad, y con el fin de contar con suficientes plantas, en esta faja también fue marcado un grupo de plantas ubicadas afuera de las parcelas para su seguimiento. El tallo de las plantas fue marcado con pintura a 5 cm del nivel del suelo y se midió el díametro a la base (Db) y de altura total (A) en junio de cada año desde 1998 hasta el 2002. A partir de este año se marcó y midió el díametro a 1,3 m del suelo (dap), y se continuaron las mediciones de altura, hasta el 2005. Para los diámetros se usó un calibrador digital "Mitutoyo" (resolución 0,01 mm). Las alturas fueron medidas con regla graduada y, luego de 1,5 m, con vara telescópica (resolución 0,1 cm). Toda planta nueva que al momento de cada medición superaba la categoría de 25 cm de altura era identificada, marcada, medida y monitoreada. En cada momento de medición también se registraban las plantas muertas. El reclutamiento y la muerte de plantas fueron registrados en forma trimestral (coincidiendo con la estación calendario), durante los tres primeros años del estudio. Las tasas de reclutamiento (Re) y de mortalidad (Mo) fueron calculadas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\mathrm{Re}(\%)_{[(n+1)-n]} = \frac{r[(n+1)-n]\bullet 100}{N} \qquad (1)$$

$$Mo(\%)_{[(n+1)-n]} = \frac{m[(n+1)-n]\bullet 100}{N} \qquad (2)$$

donde:

Re = porcentaje de plantas reclutadas durante el periodo [(n+1)-n]
Mo = porcentaje de plantas muertas durante el periodo [(n+1)-n]
m [(n+1)-n] = número de plantas muertas durante el periodo [(n+1)-n]
r [(n+1)-n] = número de plantas reclutadas durante el periodo [(n+1)-n]
N = número de plantas existentes en el momento n

Análisis de los datos

Para fines de la descripción de los resultados, primero serán presentados los datos que caracterizan al ambiente lumínico, comparando los valores de radiación relativa entre fajas. Las poblaciones de plantas al inicio del estudio fueron caracterizadas en diámetro y altura, usando la media, la mediana, los coeficientes de variación y de asimetría, y la distribución de frecuencia por clases de tamaño. Debido a la asimetría en la distribución de tamaño, las pruebas entre poblaciones fueron realizadas mediante métodos no paramétricos (Kruskal-Wallis), haciendo comparaciones de a pares. Se evaluó la evolución de la densidad de plantas y los patrones estacionales de reclutamiento y mortandad.

Las variables porcentuales fueron analizadas utilizando la transformada (y = arcsen Öp), y sometidas a análisis de varianza, y prueba de Tukey. Se calculó la correlación entre el crecimiento en un periodo y el tamaño de las plantas al inicio del mismo. La variable crecimiento en diámetro y altura fue sometida a un análisis de covarianza (covariable tamaño inicial). Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa Statistical Analysis System (SAS, 2002).

RESULTADOS

Ambiente lumínico en los claros

Los valores promedios de Rt, Rd y Ri fueron algo superiores en la orientación EO (Tabla 1), pero las diferencias entre orientaciones no resultaron significativas. En cambio, los valores de radiación aumentaron a medida que crecía el tamaño de la faja (Anva, P > F = 0,0001). En la tabla 2 se presentan los valores promedio y las comparaciones entre los diferentes tamaños. La Ri sólo dependió del tamaño de la apertura, mientras que para la Rd se detectó efecto de interacción entre factores (Anva, P > F = 0,0108). De modo que, en EO la Rd resultó ser significativamente inferior en la faja más angosta, mientras que en NS los valores fueron crecientes con el aumento en el tamaño del claro. La Rt presentó un patrón similar al encontrado en la Rd.

Un análisis visual de la fotografía hemisférica (Figura 1), muestra que existe un patrón diferente entre orientaciones, con respecto a la manera en que la radiación directa ingresa en el claro durante el año (observar las trayectorias solares). En fajas EO, la radiación directa ingresa principalmente durante primavera-verano (etapa de activo crecimiento), y en ese periodo el ingreso ocurre durante casi todo el día. Mientras que en las fajas NS, el ingreso se produce durante todo el año, pero la contribución diaria ocurre solamente alrededor de las horas del mediodía. Estos patrones son importantes para comprender el comportamiento de las plantas, como veremos en los siguientes resultados.

Tabla 1. Valor promedio (%) y desviación para radiación relativa directa (Rd), indirecta (Ri) y total (Rt) según orientación.

	E-O	N-S
Rd	67,57	63,03
	(7,46)	(9,41)
Ri	64,99	63,31
	(8,49)	(9,32)
Rt	66,69	63,13
	(8,02)	(9,53)

Tabla 2. Valor promedio (%) de radiación relativa directa (Rd), indirecta (Ri) y total (Rt). Dentro de cada orientación, letras distintas indican diferencias (Tukey, P<0,05)

Claro	Rd	Ri	Rt
EO-0,5	59,18 a	55,46 a	57,60 a
EO-0,8	70,04 b	67,74 b	69,70 b
EO-1,1	73,48 b	71,76 c	72,76 b
NS-0,5	52,20 a	53,12 a	52,58 a
NS-0,8	65,88 b	65,42 b	65,70 b
NS-1,1	71,00 c	71,40 c	71,12 c

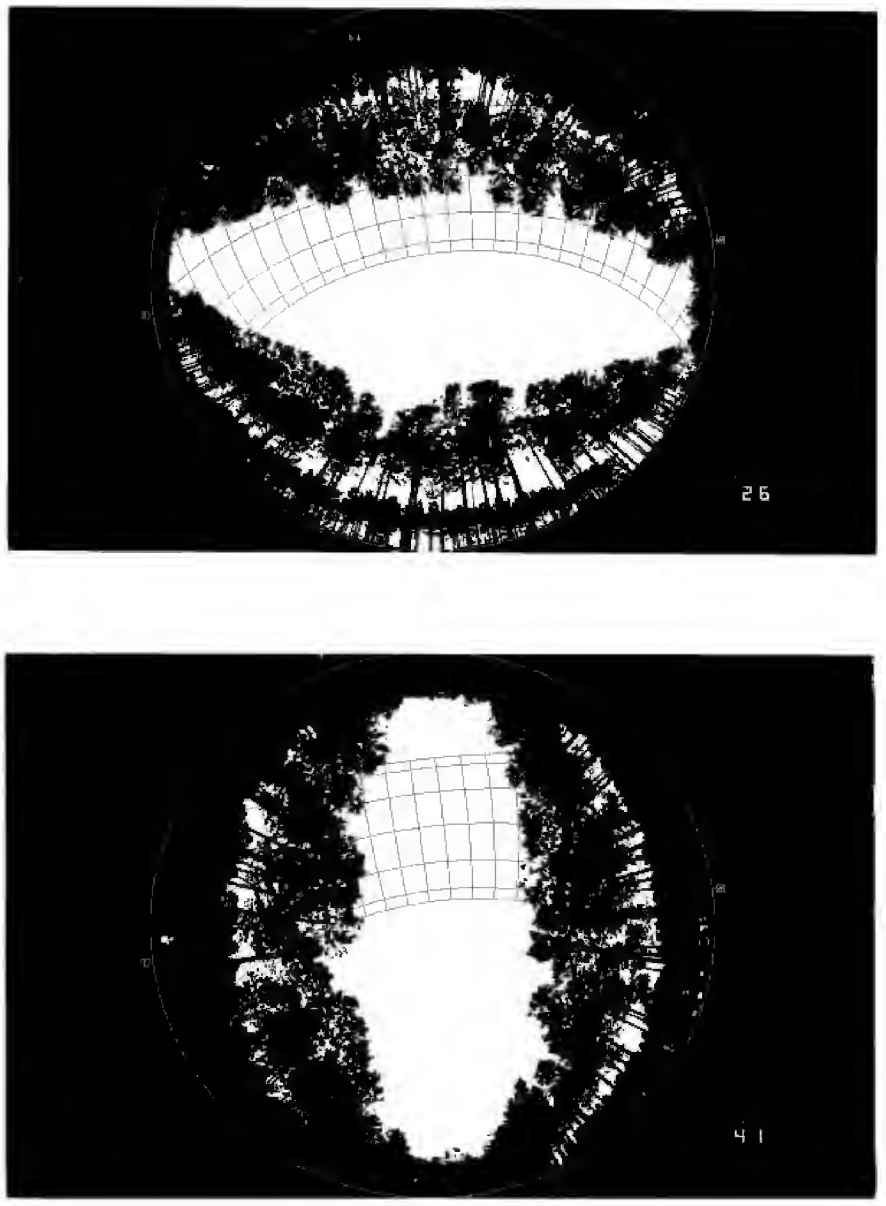

Figura 1. Foto hemisférica en los claros 0,8 para la orientación EO (arriba) y NS (abajo), donde se observan las trayectorias solares a través del año, para la localidad donde se hizo el estudio (31°22' Lat.S., 58°07' Long.O.).

Estructura inicial de las poblaciones

En la tabla 3 se presenta la caracterización poblacional al inicio del estudio para las variables diámetro y altura, en las diferentes poblaciones. Se observa que el diámetro en todos los casos presentó mayor variabilidad que la altura. Los valores del coeficiente de asimetría mostraron que las poblaciones en general tenían cierta asimetría positiva, lo cual indica una alta proporción de plantas pequeñas y pocas plantas grandes. Adicionalmente se observó que dentro de cada población, la asimetría siempre resultó más pronunciada para el diámetro que para la altura.

Dos años después de efectuadas las aperturas, momento en que se inició el estudio, aún no se detectó una tendencia respecto al tamaño de las plantas en función del tipo de claro. La única faja que presentó plantas con menor diámetro y altura fue EO-0,5. En NS-0,8 las plantas tuvieron un diámetro significativamente menor, siendo esta población la de mayor densidad inicial, como veremos posteriormente.

Tabla 3. Diámetro en la base (Db, mm) y altura (A, cm) de plantas al inicio del estudio. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos al nivel de P < 0,05, según prueba de Kruskal-Wallis.

Claro	Db				A			
	M	Me	CV	Ca	M	Me	CV	Ca
EO-0,5	11,80 a	10,75	51	1,08	71,7 a	71,0	34	0,62
EO-0,8	14,27 b	13,38	52	1,02	87,9 b	83,0	39	1,37
EO-1,1	15,20 b	13,04	54	0,77	89,2 b	81,0	37	0,87
NS-0,5	13,37 b	12,36	28	1,37	82,7 b	78,0	23	1,16
NS-0,8	11,78 a	9,21	73	1,77	87,3 b	74,0	45	1,36
NS-1,1	13,77 b	11,43	70	1,99	92,2 b	84,5	46	1,57

M = media; Me = mediana; CV = coef. de variación; Ca = coef. de asimetría

Al describir las poblaciones mediante la distribución de frecuencia del diámetro (Figura 2), se observa la asimetría mencionada y la existencia en los claros grandes de tamaños de plantas que no están presentes en los claros pequeños. La figura 3 permite visualizar la menor asimetría en la distribución para la variable altura.

Densidad, reclutamiento y mortalidad de plantas

La figura 4 muestra la evolución de la densidad durante los siete años de estudio. Las fajas intermedias fueron las que alcanzaron la mayor densidad. Pero, en general las densidades fueron similares, no habiéndose registrado diferencias significativas. El único comportamiento distinto se registró en la situación NS-0,5, que presentó una densidad significativamente inferior a las demás (P < 0,05), manteniendo ese comportamiento a través del tiempo. Cabe aclarar que aunque en esa faja se observó la presencia de muchas plantas pequeñas, en distintos momentos de nuestro estudio, esas plantas no superaron el límite de 25 cm de altura. La figura 4 también permite observar que hay un pico de densidad dentro del primer año del estudio, asociado al reclutamiento de plantas y que la muerte de plantas comenzó a producirse en mayor medida en el segundo y tercer año del estudio.

En las figuras 5 y 6, se muestran los dos procesos que condicionan la dinámica del número de plantas, o sea el reclutamiento y la mortalidad en función de la estación del año. Los valores promedio de los tres primeros años de estudio indicaron que el reclutamiento se produjo principalmente durante el invierno y la primavera, mientras que la muerte de plantas fue más frecuente en primavera y verano.

El reclutamiento no fue diferente entre orientaciones. En cambio, la mortalidad en NS fue mayor (Anva, P > F = 0,03).

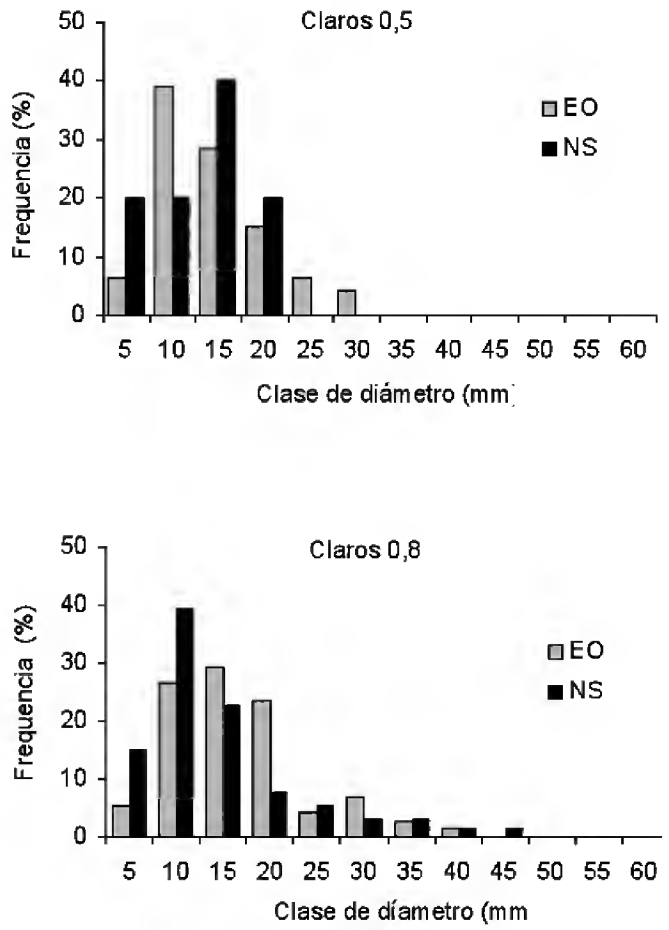

Figura 2. Distribución de frecuencia de plantas (%) por clases de diámetro, al inicio del estudio (dos años después de la apertura del dosel).

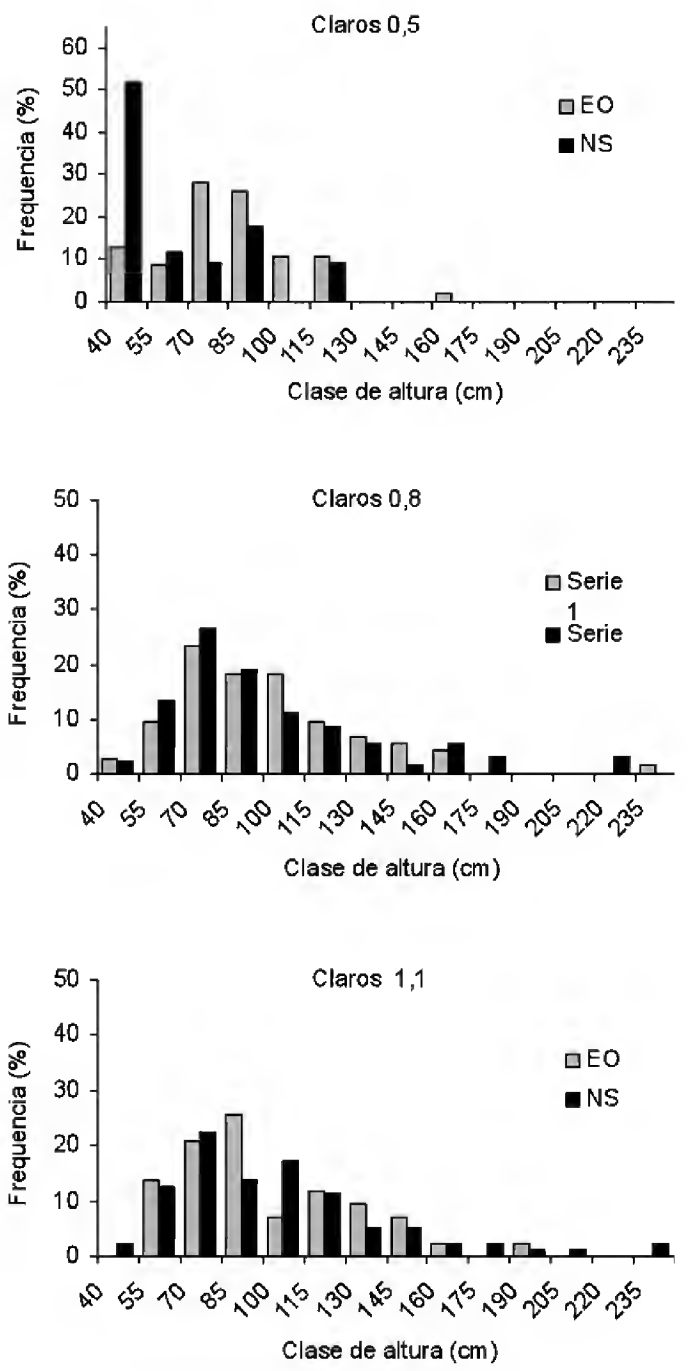

Figura 3. Distribución de frecuencia de plantas (%) por clases de altura, al inicio del estudio (dos años después de la apertura del dosel).

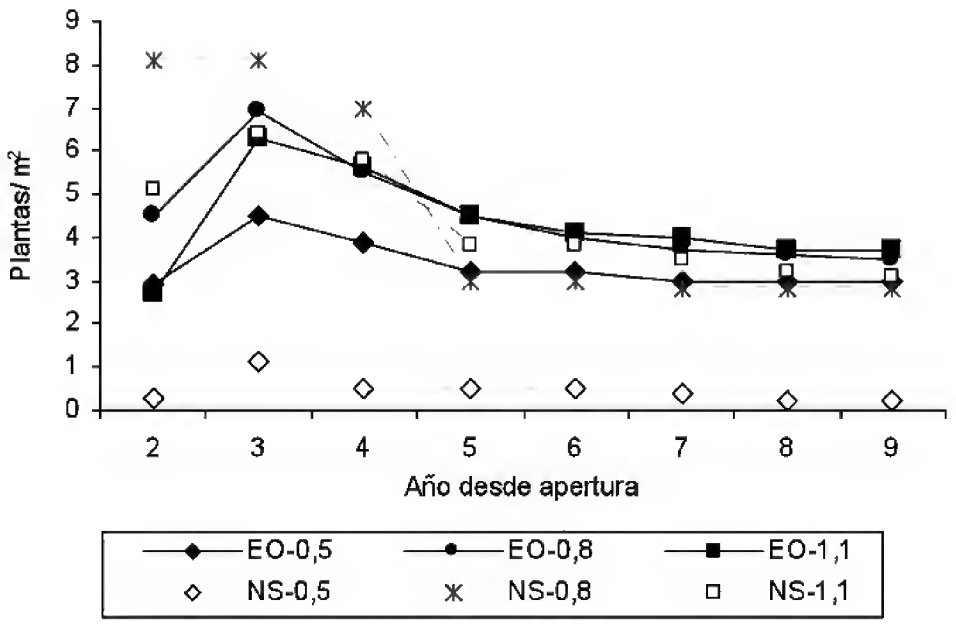

Figura 4. Evolución de la densidad (plantas m-2) en las diferentes aperturas.

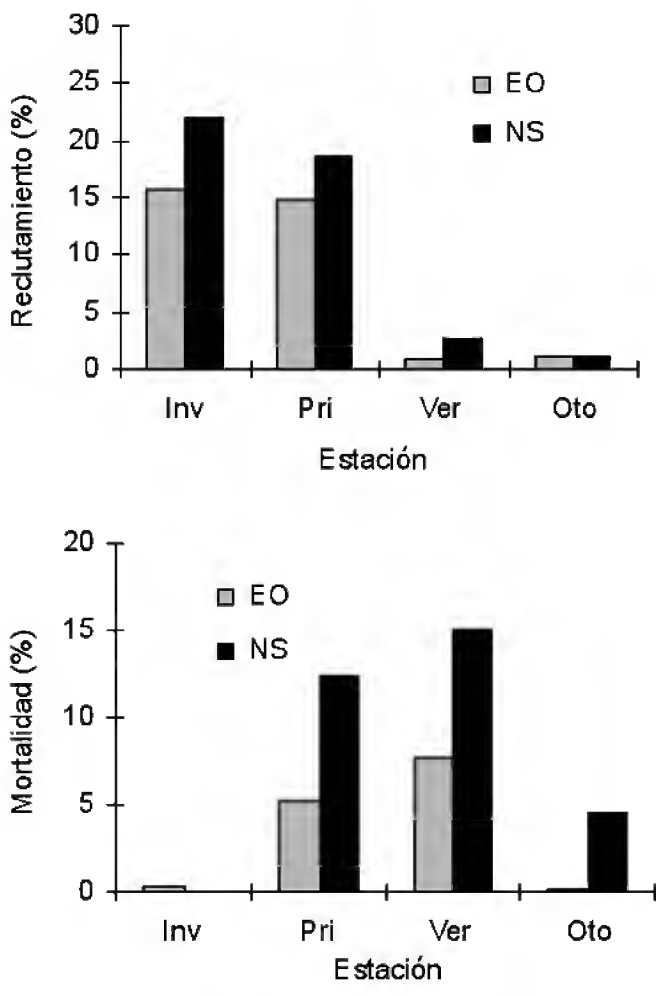

Figura 5. Valores estacionales de las tasas de reclutamiento y mortalidad de plantas (%), discriminado por orientación. Los datos corresponden al promedio de tres años de medición.

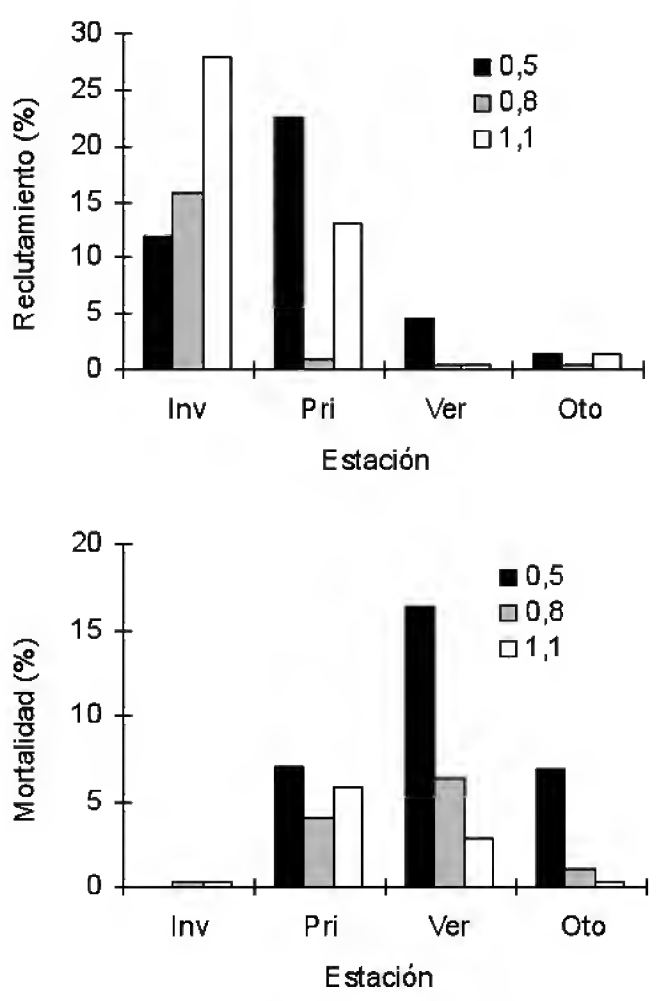

Figura 6. Valores estacionales de las tasas de reclutamiento y mortalidad de plantas (%), discriminado por tamaño de claros. Los datos corresponden al promedio de tres años de medición.

Tabla 4. Sobrevivencia (%) de plantas presentes al inicio del estudio (Pi), y reclutadas en años posteriores (Pr). Se acompaña el valor de densidad inicial (Di, plantas m^{-2}).

Claro	Di	Pi		Pr	
EO-0,5	2,9	82,1	a	5,9	a
EO-0,8	4,5	93,1	a	40,0	b
EO-1,1	2,7	97,7	a	50,9	b
NS-0,5	0,3	100,0	a	25,0	a
NS-0,8	8,1	29,3	b	0,5	b
NS-1,1	5,1	63,9	c	37,5	a

Dentro de cada orientación, y para cada variable las letras distintas indican diferencias (Tukey, P<0,05).

Un análisis individual, donde se identificó la pertenencia de cada planta a una cohorte en particular, permitió detectar que la mayoría de las plantas muertas correspondieron a plantas reclutadas después de comenzado el estudio, o sea cohortes más jóvenes y, por lo tanto, plantas más pequeñas. Estas plantas registraron un valor promedio de 49,5 cm de altura, antes de considerarse planta muerta. En cambio, las plantas que se encontraban establecidas al inicio del estudio, alcanzaron un valor promedio de 138 cm de altura antes de morir. En la tabla 4 se refleja el comportamiento diferente según tipo de planta, a través de los valores de sobrevivencia al final del estudio. Se observa que la faja con mayor densidad inicial (NS-0,8) presentó valores más bajos de sobrevivencia de plantas.

Crecimiento de las plantas

En todas las poblaciones el crecimiento anual, tanto en diámetro como en altura, estuvo correlacionado con el tamaño de la planta al inicio de cada periodo de análisis (Tabla 5, Figura 7), y en todos los casos fue significativa (P = 0,0001). El análisis del crecimiento de las plantas se realizó considerando dos escenarios. En un caso se analizó el incremento medio (Db y altura) de todas las plantas durante el periodo 1998-2002. Para un segundo análisis, se comparó el crecimiento en dap y altura de aproximadamente 25% de las plantas considerando las más grandes, es decir, aquellas mejor posicionadas competitivamente.

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre el incremento corriente anual (ICA) y el tamaño (Db y A), para los dos primeros años de estudio (1 y 2).

	ICA * Db_1	ICA * Db_2	ICA * A_1	ICA * A_2
EO-0,5	0,85	0,87	0,81	0,81
EO-0,8	0,77	0,77	0,65	0,93
EO-1,1	0,86	0,84	0,76	0,63
NS-0,5	0,80	0,60	0,83	0,73
NS-0,8	0,83	0,69	0,85	0,78
NS-1,1	0,79	0,86	0,73	0,77

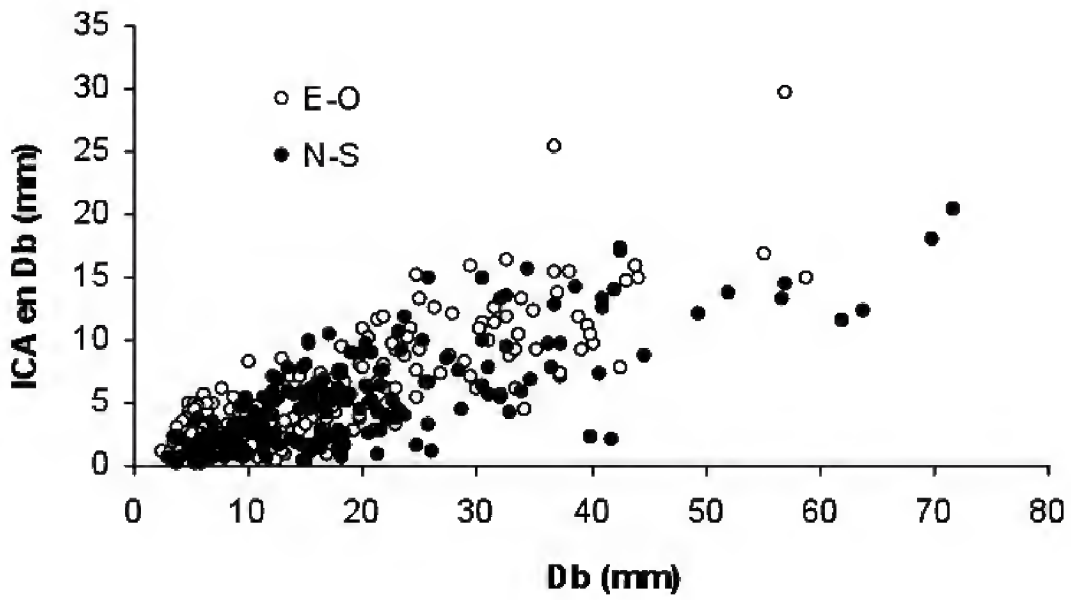

Figura 7. Relación entre el crecimiento y el diámetro de la plantas para el cuarto año de estudio, discriminado por orientación.

La evaluación de la población completa, no mostró diferencias significativas para el crecimiento en diámetro (Tabla 6). El comportamiento de la altura fue algo distinto, y se detectó que las fajas más angostas presentaron menor crecimiento.

El análisis de las plantas grandes permitió detectar claramente las diferencias entre las poblaciones de los diferentes claros (Tabla 7). Estas plantas son importantes ya que representan una población residual potencial luego de un control de la densidad y, por lo tanto, la

Tabla 6. Incremento Medio Anual (IMA) del diámetro a la base (Db, mm) y de la altura (A, cm), en el periodo 1998-2002. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (Tukey, P<0,05).

	IMA-Db	IMA-A
EO-0,5	7,78 a	66,6 a
EO-0,8	7,38 a	78,9 b
EO-1,1	8,79 a	87,3 b
NS-0,5	7,52 a	65,3 a
NS-0,8	7,69 a	79,1 b
NS-1,1	8,11 a	82,5 b

Tabla 7. Incremento Medio Anual (IMA) del diámetro a altura del pecho (dap, mm) y altura (A, cm), del periodo 2002-2005, para las plantas más grandes de cada población. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (Tukey, P<0,05).

	MA-dap	IMA-A
EO-0,5	15,91 a	95,4 a
EO-0,8	19,34 b	109,0 ad
EO-1,1	25,01 c	126,1 b
NS-0,5	11,37 d	79,7 c
NS-0,8	16,64 a	108,6 ad
NS-1,1	20,74 b	112,5 d

futura cosecha. Con el fin de visualizar estas poblaciones, en la figura 8 se presenta la distribución de frecuencia por clases de dap para el último año de estudio, tomando como base las 2 000 plantas por hectárea más grandes de cada población. La figura 8 permite observar el desplazamiento hacia la derecha de la distribución al aumentar el tamaño del claro y una diferenciación de la faja EO-1,1 respecto a las demás.

DISCUSIÓN

Estructura de la población inicial

En las primeras etapas, luego de la apertura del dosel, el tamaño de las plantas establecidas no fue significativamente diferente y no se detectó un patrón o tendencia en función del tipo de claro. Sin embargo, la distribución de frecuencia permitió visualizar que en las fajas angostas no se encontraron clases de tamaño que estaban presentes en las fajas más grandes (figuras 2 y 3). Esto se puede atribuir en parte a los diferentes niveles de radiación directa que condicionaron el crecimiento de las plantas establecidas. Algunas de las plantas grandes corresponden a individuos categorizados como regeneración anticipada (es decir, establecidos antes de efectuarse la apertura), y que por lo tanto estarían en igual cantidad antes de los tratamientos. Debido al carácter heliófito de la especie, esas plantas no tendrían más de dos años cuando se produjo la apertura. Pero el ingreso diferencial de radiación entre fajas impactó en forma distinta sobre el crecimiento inicial de dichas plantas.

La distribución de frecuencia por clases de tamaño también es afectada por el nivel de competencia. Las poblaciones tuvieron una distribución asimétrica positiva coincidiendo con lo descrito por Mohler *et al.* (1978), para los primeros estadios en poblaciones de alta densidad inicial. La gran variablidad de tamaño puede atribuirse a que las plantas provienen de regeneración natural, lo que genera poblaciones más heterogéneas comparadas con las poblaciones jóvenes de regeneración artificial (Liu y Burkhart, 1993). Esto se explica en parte por el mayor periodo de germinación y

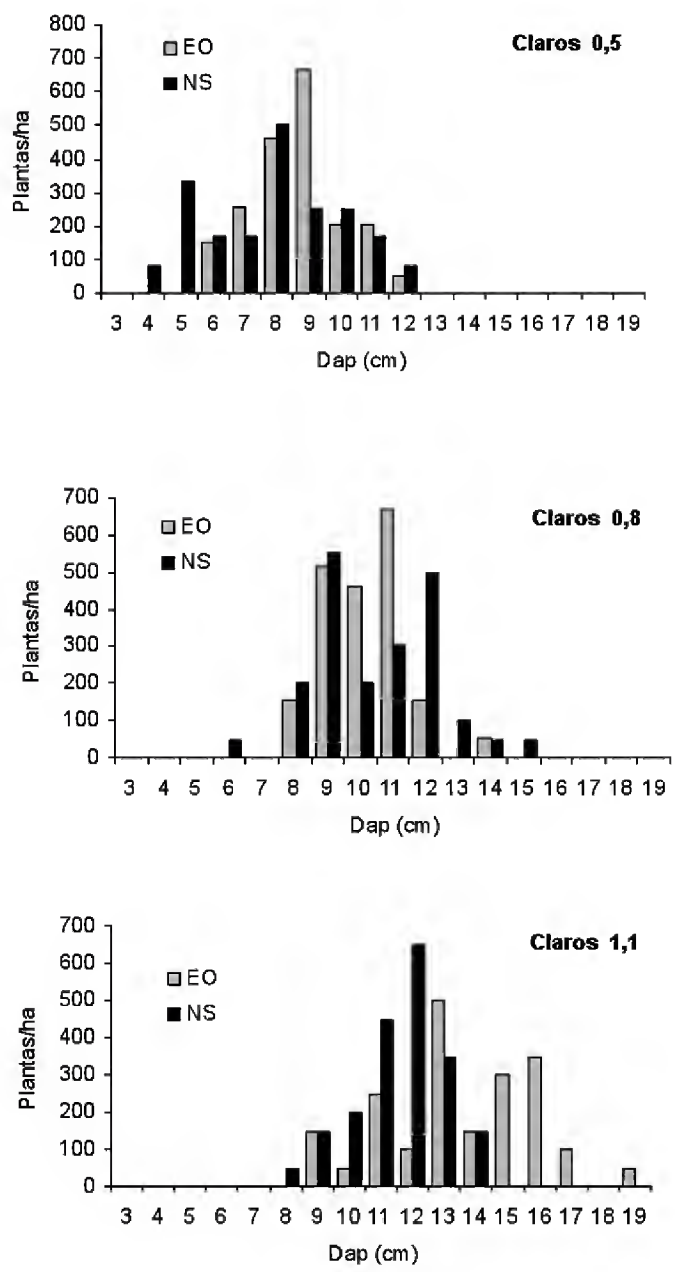

Figura 8. Distribución de frecuencia por clases de dap en el último año de medición (nueve años después de la apertura del dosel), considerando en cada población el equivalente a los 2 000 árboles más grandes por hectárea.

emergencia a campo, comparado con la etapa más corta en condiciones controladas del vivero, y por el efecto de la competencia temprana debido a la densidad inicial elevada.

El comportamiento diferencial de acuerdo con la variable considerada coincide con otros trabajos que muestran una mayor variación para el diámetro que para la altura (Liu y Burkhart, 1993; Torres *et al.*, 1994; Cabrelli *et al.*, 1997). Esta mayor variabilidad del diámetro pudiera explicarse en términos de una mayor plasticidad fenotípica para dicha variable, para plantas creciendo en competencia. En cambio, la altura de la planta condiciona el estrato del perfil vertical que ocupa dentro de una población y define la cantidad y variabilidad de radiación que llega sobre un individuo (Pukkala *et al.*, 1991).

Densidad, reclutamiento y mortandad de plantas

La densidad de plantas representa uno de los indicadores del potencial de utilización de la regeneración. Es posible inferir esa potencialidad para la zona de estudio, comparándola con datos del área de origen de la especie. Para los pinos del sudeste de EEUU se considera aceptable que tres años después de la cosecha de la plantación madre, la regeneración natural presente al menos unas 2 000 plantas por hectárea (Cain y Shelton, 2001b). En la zona donde se llevó a cabo el presente estudio, el valor máximo de densidad reportado fue de 16 brinzales por metro cuadrado (Torres *et al.*, 1994), tratándose de un situación de apertura total del dosel o matarrasa.

Considerando los antecedentes sobre el tema, puede decirse que, en términos generales, en el presente trabajo la densidad inicial de plantas fue alta. La única condición que puede considerarse más comprometida se generó en la faja NS más angosta. Aquí hubo una baja densidad inicial, que se mantuvo a través del tiempo, indicando que en esas condiciones las plantas tuvieron una baja probabilidad de sobrevivencia. Considerando que todos los claros poseían árboles linderos con características similares, la faja más angosta debería tener mayor número de semillas por unidad de superficie de suelo. Se estima que 200 mil semillas por hectárea es una buena densidad para que la regeneración natural tenga posibilidades de ser exitosa (Cain y Shelton, 2001b). En las plantaciones donde se llevó a cabo el presente experimento, se registraron entre 500 y 800 mil semillas en el suelo por hectárea, dependiendo del año y la estación (Rezzano *et al.*, 1997; Cordeiro, 2004; Rezzano, 2004). Por lo tanto, la cantidad de semillas no fue un factor limitante, como tampoco las condiciones para la germinación y emergencia de plantas (Cordeiro, 2004; Rezzano, 2004). Entonces, es posible inferir que las restricciones aparecieron en las etapas más avanzadas de los brinzales y que existieron factores microambientales que condicionaron la baja probabilidad de alcanzar una altura mayor a 25 cm. Considerando que se trata de una especie heliófita, toma fuerza la hipótesis sobre la importancia de la radiación solar dentro del claro, como recurso y como generador de condiciones. En un estudio llevado a cabo en la misma zona, la mortalidad anual de plantas de *P. elliiottii* bajo dosel fue de 88% y los valores de radiación relativa de 30% (Cabrelli *et al.*, 1997). En los claros evaluados en este estudio, los niveles de radiación fueron superiores y la variabilidad menor. Sin embargo, el valor de alrededor de 50% de radiación relativa en la faja NS-0,5, puede considerarse condicionante para el establecimiento de plantas mayores a 25 cm de altura. El carácter heliófito de la especie, también se manifiesta en la limi-

tación para el reclutamiento en poblaciones muy densas (NS-0,8), cuando el sombramiento de las plantas ya establecidas impide el desarrrollo de plantas emergidas más tardíamente.

La mayor densidad alcanzada en las fajas 0,8, sería la consecuencia de una combinación de alta cantidad de semillas por unidad de superficie, y condiciones microambientales favorables para el establecimiento. Sin embargo, la alta densidad inicial determinó un proceso de competencia intraespecífica más temprana, con la consecuente muerte de individuos y un bajo reclutamiento.

El comportamiento estacional del reclutamiento se puede asociar en parte a la marcada estacionalidad del momento de caída de las semillas (Rezzano *et al.*, 1997; Rezzano, 2004) y a la estacionalidad del crecimiento en altura (variable usada para el reclutamiento). Este patrón estacional fue reportado por Kramer (1943), y también se registró en la zona de estudio donde el crecimiento en altura se inicia a fines del invierno, ya que éste es relativamente benigno y se sostiene hasta principios del verano (Cabrelli *et al.*, 1997; Rebottaro *et al.*, 1997; Amoroso, 2000; Giuliani, 2001; Piva, 2002). En cambio, la mayor mortalidad ocurrrida durante primavera-verano está asociada a la existencia de un periodo de deficiencia hídrica. Si bien en la zona de estudio las precipitaciones ocurren durante todo el año, el ascenso de la temperatura condiciona el estado hídrico del suelo durante los meses de primavera y verano. Según Langdon (1981) para lograr un establecimiento exitoso de la regeneración natural se requiere no sólo una buena diseminación de semillas, sino también condiciones adecuadas de humedad, principalmente durante las etapas inciales. La menor probabilidad de sobrevivir encontrada en las plantas reclutadas más tarde, y por lo tanto de menor tamaño, es coincidente con otros estudios (Verwer *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos en este estudio guardan gran similitud con los obtenidos para *Pinus thunberghii*, cuando se evaluó la densidad de la regeneración en claros circulares de tamaño relativo 0,5; 1,0 y 1,5 y donde la radiación también fue evaluada mediante fotografía hemisférica (Zhu *et al.*, 2003). En dicho estudio, el establecimiento de plantas fue pobre en claros pequeños y bajo dosel y no se encontraron diferencias de densidad entre claros. Pero, los claros grandes tuvieron mayor proporción de plantas de mayor edad y, a medida que disminuía el tamaño del claro, la participación de cohortes nuevas era mayor, hasta llegar a la ausencia de plantas de más de dos años en la condición bajo dosel. Para claros con dimensiones similares, se encontraron valores de radiación mayores que los reportados por Zhu *et al.* (2003), pero dicho estudio se llevó a cabo a mayor latitud (37°52' N) que la de este trabajo (31°22' S).

Crecimiento de las plantas

En este estudio existieron dos factores que tuvieron efecto sobre el tamaño de las plantas de cada población en cada momento: uno fue el ingreso de radiación y otro la densidad. Por ejemplo, en las fajas intermedias, la elevada densidad inicial actuó negativamente y el crecimiento en diámetro fue menor. Sin embargo, la densidad no afectó de la misma manera el crecimiento en altura. Esto puede explicarse, como ya se ha mencionado anteriormente, en términos de la menor plasticidad de la altura respecto al diámetro. Cuando la regeneración natural presenta en los primeros años más de 12 500 árboles por hectárea, se recomienda realizar un aclareo precomercial (Mann y Lohrey,

1974). De lo contrario, las plantas restringirán fuertemente el crecimiento (Cain, 1988; Duryea, 1987; Rebottaro y Cabrelli, 2007).

La evaluación de las plantas más grandes permitió expresar las diferencias, ya que además el potencial de crecimiento de la regeneración no se vio enmascarado por el comportamiento de plantas muy pequeñas. Este resultado es coincidente con el estudio con regeneración de *Pinus echinata* Mill. y *P. taeda*, donde el análisis del crecimiento de las plantas más grandes permitió detectar diferencias entre tratamientos (Cain, 1991). En nuestro caso, las plantas grandes de las fajas EO tuvieron mayor crecimiento que sus pares NS y en general el crecimiento fue mayor a medida que la apertura era más grande. Dos situaciones se presentaron como claramente opuestas: fajas EO-1,1 y NS-0,5. En la faja EO-1,1 se combinaron características de orientación y tamaño que generaron un microambiente más favorable. Esto no sólo se debe al mayor ingreso de radiación, sino también probablemente a un mayor nivel de agua y nutrientes (Canham 1989; Chazdon y Fetcher, 1984).

Los valores absolutos de crecimiento en las fajas 1,1 resultaron similares a los encontrados para las plantas más grandes de una población joven sin raleo de *P. elliottii* regenerada naturalmente (Rebottaro y Cabrelli, 2007).

La alta correlación entre el crecimiento y el tamaño de la planta es común para plantas creciendo en competencia y también fue encontrado en otros estudios con diferentes especies (Cain, 1991; Nutto *et al.,* 2006; Coomes y Allen, 2007; Verwer *et al.*, 2008). Dicha correlación es un dato útil al momento de aplicar raleos precomerciales. La aplicación de raleos selectivos por lo bajo agregaría un componente adicional al crecimiento debido a la reducción de la competencia. En la zona de estudio, Rebottaro y Cabrelli (2007) encontraron una respuesta significativa al aclareo tremprano en poblaciones de regeneración natural con alta densidad inicial.

En este sentido, e independientemente de los resultados estadísticos, desde el punto de vista práctico otro componente desfavorable de la faja NS-0,5 es que, en términos de densidad, presenta una base muy estrecha para la selección de plantas al efectuar un raleo precomercial.

Finalmente, se considera que al analizar la dinámica de la regeneración bajo diferentes condiciones de apertura, el efecto de la radiación sobre las plantas debe ser vista desde diferentes perspectivas. En las primeras etapas, la cantidad de radiación solar dependerá sólo de las características del claro. Esto determinará la cantidad potencial de radiación que recibirán las plantas que crecen dentro del mismo y su probabilidad de establecerse con éxito. En etapas más avanzadas (después de los 3 o 4 años de la apertura), se agrega un componente en la limitación por luz, vinculado con la competencia entre plantas que ocupan diferentes posiciones dentro del perfil vertical. En este estudio la dinámica poblacional estuvo definida por ambos efectos. Por un lado, el ingreso diferencial de radiación entre distintas aperturas influyó sobre la cantidad de radiación que llegaba a la parte superior de las plantas. Pero, además, las plantas de poblaciones más densas reciben menor cantidad de radiación por efecto de la presencia de las vecinas, siendo el efecto más pronunciado en plantas suprimidas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio durante siete años de la regeneración natural de *P. elliottii* creciendo en claros, permitió llegar a las siguientes conclusiones:

Dos años después a la apertura del dosel, la distribución de tamaño de las plantas presentó cierta asimetría positiva. Tanto la asimetría de la distribución como la variabilidad de tamaños, siempre fue mayor para el diámetro que para la altura.

En general, la densidad de plantas fue más que suficiente para iniciar un ciclo productivo. Pero, en la faja con orientación NS y tamaño relativo 0,5 las plantas presentaron menor probabilidad de establecerse exitosamente y la densidad puede considerarse baja. Esto se produjo en condiciones de ingreso relativo de radiacion menor al 55%.

Las fajas con una tamaño relativo 0,8 y 1,1 no presentaron problemas para el establecimiento de las plantas, independientemente de la orientación. Esto coincidió con un ingreso de radiación relativa superior al 65%.

El reclutamiento de plantas fue más frecuente en invierno y primavera. Mientras que la mortalidad fue más alta en primavera-verano. Las plantas reclutadas más tarde presentaron mayor probabilidad de morir que las plantas establecidas en las primeras etapas de las aperturas.

En todas las poblaciones el crecimiento anual, tanto en diámetro como en altura, estuvo correlacionado con el tamaño de la planta al inicio de cada periodo de análisis. La evaluación de las plantas más grandes permitió expresar las diferencias entre fajas. En general, el crecimiento de estas plantas aumentó a medida que la apertura era más grande. Dos situaciones se presentaron como claramente opuestas: la faja EO-1,1 con mayor crecimiento y Rt = 73 %, y NS-0,5 con menor crecimiento.

En situaciones con alta densidad, como en este estudio, se recomienda un raleo precomercial por lo bajo, a fin de liberar las plantas y mejorar el crecimiento.

La dinámica de poblaciones jóvenes de regeneración natural de *P. elliottii* en el área de estudio, demuestra que las mismas representan un recurso productivo alternativo a la regeneración artificial. A escala local, se recomienda evaluar principalmente dos aspectos: el efecto del raleo precomercial sobre el crecimiento de plantas establecidas en claros y el efecto del sistema de cosecha parcial sobre el suelo, sobre todo en aquellos de baja fertilidad química como en este estudio.

Finalmente, considerando que estas prácticas permiten combinar un sistema de establecimiento económicamente atractivo (por su bajo costo), con actividades de menor impacto negativo sobre el ambiente, se recomienda repetir este tipo de ensayos en otros sitios de la región donde la especie es cultivada. Se sugiere además, explorar la dinámica en claros para otras especies del género *Pinus* en otras regiones. En este último caso, debe tenerse en cuenta el impacto diferencial que tendrá el tamaño del claro sobre el ingreso de la radiación solar, principalmente en función de la latitud.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los ingenieros Martín Marcó, Diana Díaz, Martín Sánchez Acosta, Graciela Rembado, Federico Larocca y a todo el personal del

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). También agradecemos a Carlos Rezzano, Alberto Torres, Roberto Benítez y Roberto Giménez. El estudio se llevó a cabo en el marco de los proyectos UBACYT G-06 y AG017, financiados por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, y los Proyectos de Investigación Aplicada PIA 14/96 y PIA 34/98, del Proyecto Forestal de Desarrollo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina, con financiamiento del Banco Mundial.

REFERENCIAS

Amoroso, M. 2000. Regeneración natural de *Pinus elliottii*: análisis del crecimiento en el segundo año de instalación de fajas silviculturales con orientación este-oeste. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 28 p.

Anderson, M.C. 1964. Studies of the woodland light climate. The photographic computation of light conditions. Journal of Ecology 52:27-41.

Backer, J., P. Muphy. 1982. Growth and yield following four reproduction cutting methods in loblolly-shortleaf pine. A case study. Southern Journal of Applied Forestry 6(2):66-74.

Battaglia, M., P. Mou, B. Palik y R. Mitchell. 2002. The effect of spatially variable overstory on the understory light environment of an open-canopied longleaf pine forest. Canadian Journal of Forest Research 32(11):1984-1991.

Edwards, M.B. 1987. Natural Regeneration of Loblolly Pine. A Loblolly Pine Management Guide. General Technical Research Paper SE-47. USDA, Forest Service, 17 p.

Brewer, C.W. y N.E. Linnartz. 1974. Regeneration loblolly pine by direct seeding, seeds trees and shelterwood. Lousiana State University and A and M College. Forestry Notes Nº 111. 3 p.

Cabrelli, D., S. Rebottaro y C. Winckler 1997. Dinámica de poblaciones jóvenes de regeneración natural de *Pinus elliottii* Engelm. en el subtrópico húmedo de Argentina. *In*: Actas del XI Congreso Forestal Mundial, 12-22 Oct 1997, Antalya, Turquía. Vol. 3, p. 65.

Cabrelli D., S. Rebottaro, C. Rezzano. 2002. Interaction between water and light level: effect on the seedling survival of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*). *In*: Frochot, C. Collet, P. Balandier, H. (eds). Popular Summaries Fourth International Conference on Forest Vegetation Management. INRA-CEMAGREF, France, pp. 302-304.

Cabrelli, D., S. Rebottaro y S. Cordeiro. 2008. Annual and seasonal variation of seedfall, seed viability, germination and survival of seedlings below canopy in slash pine stands. In: 15th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Hot Springs, Arkansas, USA. p. 50.

Cabrera, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Segunda Edición. Ed. Acme. Buenos Aires, Argentina. 85 p.

Cain, M.D. 1987. Site-preparation techniques for establishing natural pine regeneration on small forest properties. Southern Journal of Applied Forestry 11(1):41-45.

Cain, M.D. 1988. Competition impacts on growth of naturally regenerated loblolly pine seedlings. Research Note SE-345. USDA Forest Service, 5 p.

Cain, M.D. 1991. Five-year response of natural loblolly and shortleaf pine regeneration to release treatments. General Technical Research Paper SO-265. USDA, Forest Service, 13 p.

Cain, M.D. y J.P. Barnett. 1994. Five years field comparison of naturally regenerated *Pinus taeda* L. to genetically improved containers stock, with and without release. New Forest 8(2):123-141.

Cain M.D. y M.G. Shelton. 2001b. Twenty years of natural loblolly and shortleaf pine seed production on the Crossett Experimental Forest in southeastern Arkansas. Southern Journal of Applied Forestry 25(1):40-45.

Canham, C.D. 1989. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. Ecology 70(3):548-550.

Chazdon, R.L. y N. Fetcher. 1984. Photosynthetic light environments in a lowland tropical rainforest in Costa Rica. Journal of Ecology 72:553-564.

Coomes, D.A. y R.B. Allen. 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. Journal of Ecology 95(5): 1084-1097.

Cordeiro, S. 2004. Dinámica de la semilla de *Pinus elliottii* en el suelo como indicador del potencial de regeneración natural. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 22 p.

Cozzo, D., D. Cabrelli, S. Cozzo, J. Darraidou, M. Dimitri, J. Gambini, C. Rezzano, M.R. Larrieu y A. Torres. 1988. Introducción a una propuesta de plantaciones asilvestradas como alternativa de transición entre la economía maderera y la conservación ambiental. Primeros resultados obtenidos en la Argentina en *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 71 p.

Daniel, P.W., U.E. Helms y F. Baker. 1982. Principios de silvicultura. 1a. Ed. español. Traducción Ramón Elizondo Mata. McGraw Hill. México. 492 p.

De Bellis, S. 1986. Contribución para el estudio sobre la regeneración natural de *Pinus elliottii - taeda* en el Delta inferior del Paraná. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 26 p.

Diaci, J. 2002. Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. Forest Ecology and Management 161(1):27-38.

Duryea, M.L. 1987. Forest Regeneration Methods: natural regeneration, direct seeding and planting. Coop. Ext. Serv, Univ. Florida, Inst. Food and Agri. Sci. Cir. 759. 9 p.

Gray, A.N. y T.A. Spies. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. Journal of Ecology 84:635–645.

Giuliani, A.V. 2001. Análisis del crecimiento de la regeneración natural de *Pinus elliottii* durante el tercer año desde su implantación en fajas silviculturales de distinto ancho con orientación este-oeste. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad Buenos Aires, Argentina, 28 p.

HemiView. 1999. HemiView User Manual Version 2.1. Delta- T Devices, Ltd. Cambridge, UK.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) 1993. Carta de Suelos de Concordia, provincia de Entre Ríos. Argentina.

Kramer, P.J. 1943. Amount and duration of growth of various species of tree seedlings. Plant Physiology 18(2):239-251.

Langdon, O.G. 1981. Natural regeneration of loblolly pine: A sound strategy for many forest landowners. Southern Journal of Applied Forestry 5(4):170-176.

Liu, J. y H.E. Burkhart. 1993. Dynamics of size-variable distribution parameters in juvenile loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stands. Forest Ecology and Management 58(3-4):321-347.

Lloyd, F.T., T.A. Waldrop y D.L. White. 1995. Fire and fertilizer as alternative to hand thinning in a natural stand of precommercial sized Loblolly pine. Southern Journal of Applied Forestry 19(1):5-9.

Lombardi, C. 1982. Índice de crecimiento de especies en la provincia de Corrientes. Revista Asociación Forestal Argentina 26:19-31.

Lohrey, R.E. y S.V. Kossuth. 1990. *Pinus elliottii* Engelm. slash pine. *In*: Silvics of North America. Vol. 1. Conifers. Edited by R. M. Burns and B. H. Honkala. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654. pp. 338-347.

Mann, W.F. Jr. y R.E. Lohrey. 1974. Precommercial thinning of southern pines. Journal of Forestry 72(9):557-560.

McCulley, R.D. 1950. Management of natural slash pine stands in the flatwoods of south Florida and north Florida. U.S. Dep. Agric. Circular N° 845.

Méndez, H. 1996. Estudio de la estructura y composición de la hojarasca y su relación con el proceso de regeneración natural en plantaciones de *P. elliottii* Engelm. y *P. taeda* Lin., en la Mesopotamia Argentina. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 29 p.

Mohler, C.L., P. L. Marks y D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. Journal of Ecology 66:599-614.

Myers, G.P., A.C. Newton y O. Melgarejo. 2000. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brasil nuy (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. Forest Ecology and Management 127(1): 119-128.

Nutto, L., P. Spathelf e I. Selling. 2006. Management of individual tree diameter growth and implications for pruning for brazilian *Eucalytpus grandis* Hill ex Maiden. Floresta 36(3):397-413.

Piva, A.A. 2002. Análisis del crecimiento de la regeneración natural de *Pinus elliottii* durante el tercer año desde su establecimiento en fajas silviculturales de distinto ancho con orientación norte-sur. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad Buenos Aires, Argentina. 33 p.

Pukkala, T., T. Kuuluvainen y P. Oker-Blom. 1991. Predicting spatial distribution of direct radiation below forest canopies. Agricultural and Forest Meteorology 55(3-4):295-307.

Rebottaro, S. y D. Cabrelli. 2007. Crecimiento y rendimiento comercial de *Pinus elliottii* en plantación y en regeneración natural manejada con raleos en Entre Ríos, Argentina. Bosque 28(2):152-161.

Rebottaro, S., D. Cabrelli, C. Winckler y A. Torres. 1997. Efecto del raleo temprano (precomercial) sobre la regeneración natural de *Pinus elliottii* Engelm. establecida con posterioridad a la tala rasa. En:Actas 2o. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Asociación Forestal Argentina (eds). 13-15 Agos. 1997. Posadas, Misiones, Argentina.

Rebottaro, S., D. Cabrelli, E. Rivero, D. Ceballo y E. Rienzi. 2004. Importancia del mantillo forestal de pinos subtropicales en suelos de baja fertilidad. XII Congreso Forestal Mundial. Comisión B4: Management and development of forests land. Disponible en: http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/0369-B4.htm

Rezzano, C., E. Borodowski, A. Torres y A. Scopel. 1997. Dinámica de la caída de acículas y semillas en rodales de *Pinus elliottii* Engelm. con diferentes manejos silvícolas y su relación con el proceso de regeneración natural bajo dosel en la Mesopotamia Argentina. En: XI Congreso Forestal Mundial, 12-22 Oct 1997, Antalya, Turquía. Vol. 3, p. 158.

Rezzano, C. 2004. Efecto de diferentes factores microambientales sobre la germinación y el establecimiento de la regeneración natural de pinos subtropicales en el área de la Mesopotamia Argentina. Tesis de Maestría, Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 89 p.

SAS. Institute Inc. 2002. SAS/STAT. User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (S.A.G.y P.) 1999. El sector forestal argentino. S.A.G. y P. Buenos Aires, Argentina. 295 p.

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1992. Datos climáticos 1961-1990. EEA INTA Concordia, SMN, Fuerza Aérea, Argentina.

Torres, A., D. Cabrelli, C. Winckler, S. Rebottaro y C. Rezzano. 1994. Evaluación preliminar de la regeneración natural de *Pinus elliottii* Engelm. en Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos. Rev. Fac. Agron. 14(3):219-227.

Verwer, C., M. Peña-Claros, D. van der Staak, K. Ohlson-Kiehn y F. J. Sterck. 2008. Silviculture enhances the recovery of overexploited mahogany *Swietenia macrophylla*. Journal of Applied Ecology 45(6):1770-1779.

Wheeler, L., T.T. Ku y R.J. Clovin. 1988. The effects of silvicultural practices on soil water chemistry of southern pine forests. *In*: Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference. General Technical Research SE-74. USDA, Forest Service, pp. 473-476.

Whitmore, T.C. 1989. Canopy gaps and two major groups of forest trees. Ecology 70:536-538.

Zavala, M.A., O. Angulo, R.R. Bravo de la Parra y J. C. López-Marcos. 2007. An analytical model of stand dynamics as a function of tree growth, mortality and recruitment: The shade tolerance-stand structure hypothesis revised. Journal of Theoretical Biology 244(3):440-450.

Zhu, J.J., T. Matsuzaki, F.G. Lee e Y. Gonda. 2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establisment in a coastal pine forest. Forest Ecology and Management 182(1-3):339-354.

Manuscrito recibido el 2 de septiembre de 2009
Aceptado el 04 de mayo de 2010

Este documento se debe citar como: Rebottaro, S. L. y D. A. Cabrelli. 2011. Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años. *Madera y Bosques* 17(1):49-70.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México

Germination and survival of six native species in a tropical forest of Tabasco, México

Isidro Pérez-Hernández[1], Susana Ochoa-Gaona[1], Georgina Vargas-Simón[2], Manuel Mendoza-Carranza[1] y Noel Antonio González-Valdivia[1]

RESUMEN

Se evaluó la germinación y supervivencia *in situ* y *ex situ* de plántulas de *Aspidosperma megalocarpon*, *Eugenia* sp., *Lonchocarpus castilloi*, *Manilkara zapota*, *Ormosia macrocalyx* y *Rollinia mucosa*. En campo se sembraron 2 160 semillas en nueve bloques de 5 m x 20 m distribuidos en bosque tropical, acahual maduro y acahual joven. El experimento se replicó en condiciones de vivero bajo sombra de 40, 60 y 80%. Los tipos de cobertura vegetal no mostraron diferencias significativas en las tasas de germinación y de crecimiento; sin embargo, estos sí influyeron en la capacidad de germinación de *A. megalocarpon* y *O. macrocalyx*, y en las tasas de depredación de *M. zapota* y *L. castilloi*. En el acahual joven se presentó la mayor depredación de semillas, sin embargo, las plántulas remanentes presentaron mayor supervivencia que en las otras coberturas vegetales. En el vivero no se encontró diferencia en la proporción de semillas germinadas, ni en las tasas de germinación y de crecimiento. *R. mucosa*, fue la única especie que presentó menor supervivencia (42%). Las condiciones ambientales de las diferentes clases de cobertura vegetal en el área de estudio mantienen condiciones adecuadas para el proceso de germinación, crecimiento y establecimiento de plántulas de las especies estudiadas, lo cual permite sugerir su utilización en la rehabilitación de áreas degradadas del bosque original sembrando de manera directa, siempre y cuando se realice de manera inmediata después de la recolecta. Es necesario continuar con estos estudios para promover el uso de especies nativas en la rehabilitación y restauración de bosques tropicales.

PALABRAS CLAVE:
Condiciones ambientales, depredación, establecimiento, semillas de árboles, tasa de crecimiento, tasas de germinación.

ABSTRACT

We evaluated the germination and survival *in situ* and *ex situ* of seedlings of *Aspidosperma megalocarpon, Eugenia* sp., *Lonchocarpus castilloi, Manilkara zapota, Ormosia macrocalyx* and *Rollinia mucosa*. We established nine blocks of 5 m x 20 m in the field, in which 360 seeds of each species were established in three successional conditions with three repetitions: mature tropical forest, advanced fallows and young fallows. The experiment was replied in a tree nursery using 40, 60 and

1 Área de Sistemas de Producción Alternativos. El Colegio de la Frontera Sur. Apdo. Postal 1042, Admón. de Correos de Tabasco 2000, 86031 Villahermosa, Tabasco, México. Tel/Fax +52 (993) 3136110. C.e.: sochoa@ecosur.mx.

2 División de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 s/n. 86150 Villahermosa, Tabasco, México. Tel +52 (993) 3391264.

80% shade. We found no significant differences in the rates of germination and neither in growth due to variation in the natural cover. However, the rates of germination of *A. megalocarpon* and *O. macrocalyx*, and the rates of depredation of *M. zapota* and *L. castilloi* were affected by the coverage. Seeds sown in young fallows showed higher depredation, whereas seedling survival was higher here than in the other successional stages. In the tree nursery, no significant difference was found in the proportion of germinated seeds, the rates of germination and in growth. However, *R. mucosa* showed low survival (42%). The environmental conditions of the forests in Tabasco are under various stages of degradation and it is appropriate to start a rehabilitation program by introducing native species. This study indicates that this could be done by sowing the seeds directly in the forests without first producing seedlings in nurseries, which in turn would reduce the costs. It is recommend continuing research on the seed and seedling performance of other species that could be used to rehabilitate and restore the tropical forest.

KEY WORDS:
Environmental conditions, depredation, establishment, seeds of trees, rate of growth, rate of germination.

INTRODUCCIÓN

El éxito de la germinación y establecimiento de plántulas en el medio natural está determinado por factores bióticos como la densidad, depredadores y patógenos (especialmente hongos), y por factores abióticos como la disponibilidad de luz, agua, temperatura y nutrientes del suelo (Willan, 1991; Camacho-Cruz *et al.*, 2000; Harms y Paine, 2003). Sólo cuando las condiciones abióticas son adecuadas, se inicia el proceso de germinación como parte de sus estrategias adaptativas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1992; Figueroa, 2000). Actualmente estos factores se han visto gravemente afectados debido a la transformación de los bosques nativos en áreas ganaderas, agrícolas y urbanas, lo que ha contribuido en la simplificación, degradación y desaparición del bosque y del ecosistema en su conjunto (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1992; Lanly, 2003). Debido a esto, se hace necesaria la propagación de especies nativas para el enriquecimiento, la reforestación y la restauración de las áreas afectadas. Sin embargo, los planes de reforestación implementados en los trópicos americanos aún son limitados en el uso de especies nativas, y con mayor frecuencia usan especies exóticas como eucaliptos, teca o melina, promoviendo la creación de bosques monoespecíficos de rápido crecimiento para la producción de madera y celulosa. Estos bosques manejados desplazan a las plantas y animales nativos y a menudo son pobres en biodiversidad (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1992; Arriaga *et al.*, 1994).

La siembra directa de semillas es una opción para diversificar las áreas forestales ya que puede dar buenos resultados en la propagación de especies nativas. Además, en comunidades con escasos recursos económicos, este método permite evitar las dificultades técnicas y los gastos inherentes a otras formas de propagación de plántulas más elaboradas (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

OBJETIVO

Analizar la germinación, depredación de semillas, crecimiento y supervivencia de plántulas de seis especies forestales sembradas en vegetación natural y en condiciones de vivero.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el sureste de México, en el área de protección de flora y fauna conocida como Cañón del

Usumacinta, en el ejido Niños Héroes de Chapultepec, localizado en la sierra del municipio de Tenosique a 17º16´27´´ N y 91º24´02´´ O, a 450 m de altitud (INEGI, 2006; Figura 1). Los suelos son de tipo litosol, con poca profundidad, limitados por estratos duros y coherentes dentro de los primeros diez centímetros. El clima es cálido-húmedo con lluvias todo el año (Af), las cuales decrecen ligeramente en invierno. La temperatura media anual oscila entre 25,4 °C y 26,9 °C. El régimen de precipitación alcanza 3 286 mm anuales, con un promedio máximo mensual de 400 mm en el mes de septiembre y un mínimo mensual de 50 mm en el mes de abril (Enciclopedia de los Municipios de México, 2005). Esta zona montañosa, está cubierta por fragmentos de bosque tropical lluvioso inmersos en un mosaico de vegetación secundaria de diferente edad derivada de la actividad agrícola y pastizales inducidos para la ganadería, localizados en las partes planas u onduladas (Ochoa-Gaona *et al.*, 2008).

Selección de especies y obtención de semillas

Para el área de estudio se reportan 34 especies arbóreas que fructifican entre enero y mayo (Ochoa-Gaona *et al.*, 2008), de éstas, se seleccionaron seis con base en su importancia local y estado sucesional (Tabla 1).

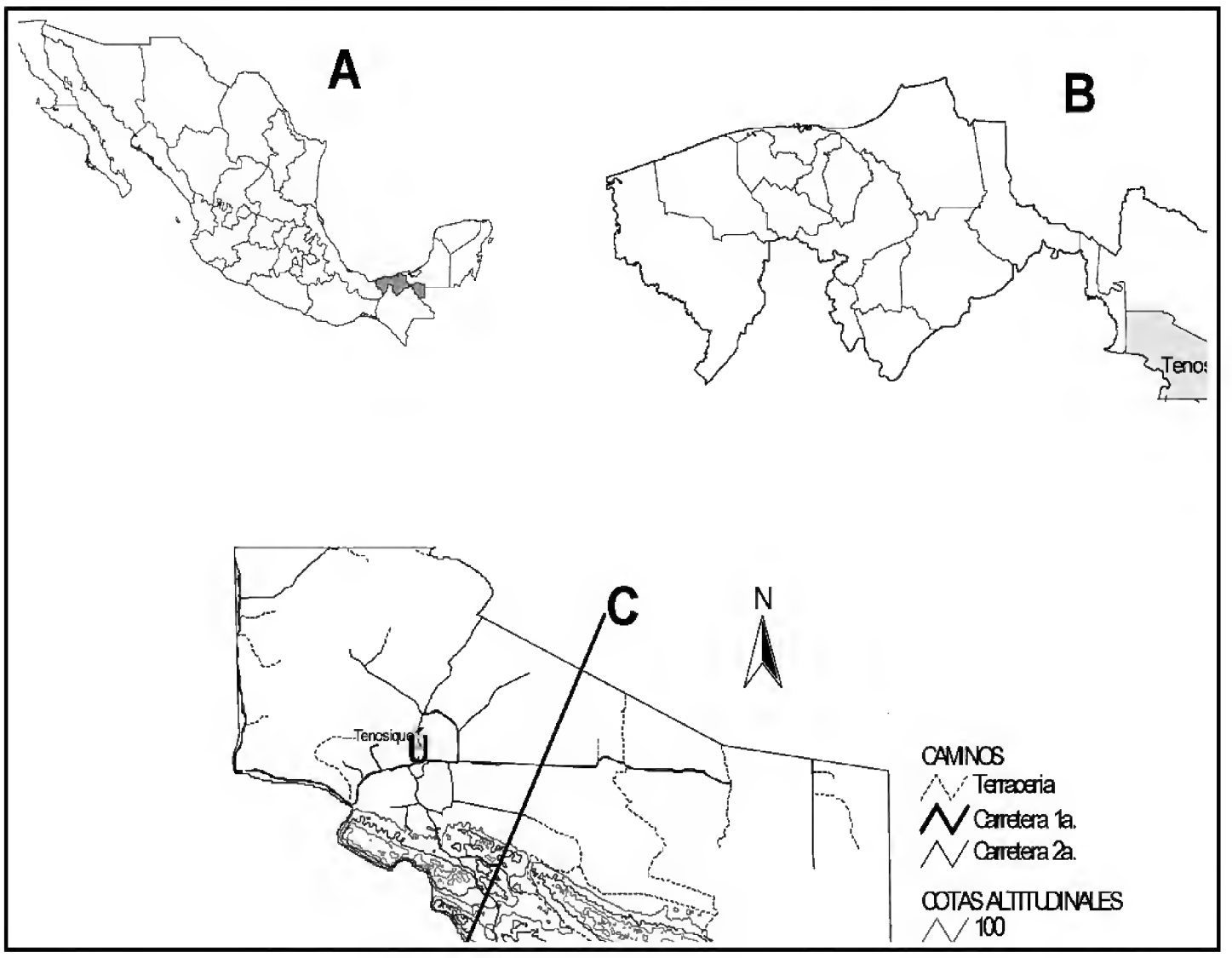

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. A: México; B: Estado de Tabasco y C: Ejido Niños Héroes de Chapultepec en el municipio de Tenosique, Tabasco.

Tabla 1. Características de las especies usadas en el experimento de germinación y depredación de semillas, supervivencia y establecimiento inicial de plántulas.

Nombre común y científico*	Familia	Estado sucesional**	Usos locales***
Bayo (*Aspidosperma*) *megalocarpon* Müll. Arg.	Apocynaceae	Bosque maduro	Tablas, vigas y tijeras para casas
Escobillo (*Eugenia* sp.)	Myrtaceae	Pionero tardío	Vigas y tijeras para casas
Machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl.)	Fabaceae	Pionero tardío	Postes, sombra para ganado y leña
Chicozapote, chicle (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen)	Sapotaceae	Bosque maduro	Construcciones pesadas, fruto comestible
Caracolillo (*Ormosia macrocalyx* Ducke)	Fabaceae	Pionero tardío	Postes, vigas para casas y sombra para ganado
Anona de montaña (*Rollinia mucosa* (Jacq.) Baill.)	Annonaceae	Bosque maduro	Fruto comestible y árbol ornamental

* http://www.tropicos.org/

** Ibarra-Manríquez *et al.*, 2001; Pennington y Sarukhán, 2005.

*** Entrevistas a pobladores

Para la obtención de las semillas se recolectaron frutos directamente del árbol y en menor cantidad del suelo. La recolecta se realizó entre el 25 de febrero y el 11 de marzo de 2008 en remanentes de bosque de la zona de estudio, para lo cual se siguieron las recomendaciones de la FAO-DANINA (Willan, 1991). Las semillas vanas o que presentaban daño visible se desecharon, además se aplicó una prueba de flotación para aumentar la posibilidad de usar semillas viables (Mulawarman *et al.*, 2003). Las semillas fueron almacenadas a temperatura ambiente de uno a siete días, mientras se colectaba la cantidad necesaria para iniciar el experimento. A las semillas no se les aplicó ningún pretratamiento germinativo.

Diseño experimental en campo y vivero

Se seleccionaron sitios con tres repeticiones en remanentes de bosque tropical

(Bt), en acahual maduro (25 años, Am) y en acahual joven (8 años, Aj). En cada sitio se delimitó un rectángulo de 5 m x 20 m, donde se establecieron geométricamente 120 puntos de siembra (separación de 1 m entre puntos); de cada especie se establecieron 20 puntos de siembra (dos semillas por punto). La especie sembrada en cada punto se seleccionó al azar, por lo que no hubo una distribución determinada. En cada punto de siembra se colocó un popote de plástico donde se anotó la especie y la fecha de siembra. En total se sembraron 2 160 semillas de las seis especies en los tres tipos de cobertura vegetal; las semillas fueron cubiertas aproximadamente por un centímetro de suelo. Para evitar el efecto de borde (Harper *et al.*, 2005) en el Bt los sitios se ubicaron al centro de la vegetación (Newmark, 2001) y para el Aj y Am a 184 m del límite de la vegetación adyacente (Didham y Lawton, 1999).

El vivero se estableció cerca del poblado (ejido Niños Héroes de Chapultepec) en un área comunal destinada para el cultivo de plantas, donde se armaron tres estructuras de metal las cuales se cubrieron totalmente con malla sombra de 40% (S-40), 60% (S-60) y 80% (S-80). Se sembró la misma cantidad de semillas que en el experimento en campo, las semillas se distribuyeron equitativamente en las tres clases de sombra. Se usaron charolas de germinación COPPER BLOCK 60/220 ml (60 cavidades de 220 ml cada uno) y sustrato comercial CRECIROOT. Dado que la lluvia fue suficiente para mantener húmedas las semillas, sólo en mayo que fue el periodo más seco, estas se regaron manualmente cada dos días.

Variables evaluadas

Con base en Arriaga *et al.*, 1994 y Martínez-Sánchez, 2004, para cada especie en cada tipo de cobertura vegetal y tipo de sombra se evaluaron las siguientes variables: *a)* tiempo de inicio de germinación (número de días transcurridos a partir de la siembra hasta el registro de la primera semilla germinada); *b)* capacidad de germinación, la cual se define como el número de semillas que germinan bajo algún tratamiento o en condiciones definidas, se expresó en porcentaje (%) (Arriaga *et al.*, 1994), *c)* tasa media de germinación (sg sem^{-1} semillas germinadas por semana), se consideró una semilla germinada cuando se observó la emergencia de la plúmula (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997), *d)* porcentaje de supervivencia de plántulas, *e)* tasa media de crecimiento de plántulas (cm sem^{-1}, centímetros por semana). Sólo en el experimento en campo se registró la depredación de semillas (porcentaje de semillas depredadas y la tasa media depredación (sd sem^{-1}, semillas depredadas por semana), se consideró una semilla depredada cuando se observó daño total o parcial en la testa, endospermo o cotiledones por hongos o fauna (Guariguata y Ostertag, 2002) o cuando la semilla ya no se localizaba. En el vivero la depredación no fue un factor evaluado, ya que por el sustrato utilizado no favoreció el desarrollo de hongos y se evitó el efecto de la fauna depredadora de semillas; sin embargo hubo un ataque de hormigas en una noche sólo para *A. megalocarpon*.

El experimento se evaluó por seis meses (marzo-agosto de 2008). Después de la siembra de cada especie se registraron datos diariamente durante los primeros veinte días; posteriormente, cada ocho días y los últimos cuatro registros se realizaron cada quince días. Semanalmente se midió al centro de cada bloque de muestreo la humedad del suelo, utilizando un tensiómetro marca "QUICK DRAW Soilmosture probe" modelo 2900 FI (valor de 0 a 10 centi-

bares indica un suelo saturado de agua, de 10 a 30 es óptimo para las plantas; 30 a 60 margen normal para iniciar el riego excepto en los suelos muy arcillosos; 60 a 80 margen normal para iniciar el riego en los suelos muy arcillosos, > 80 entra en estrés hídrico; Myers y Harrison, 1975; Soilmoisture, 1998). La temperatura y humedad ambiental, se midieron con un HOBO (Onset, Computer Corporation), el cual se programó (software BOXCAR 3.6) para que registrara datos cada hora después de iniciado el experimento. Para calcular la radiación total bajo el dosel se tomaron tres fotografías hemisféricas en cada tipo de cobertura vegetal (Roxburgh y Kelly, 1995) a 1 m de altura sobre el nivel del suelo con una cámara digital marca Nikon COOL PIX 8400 con 8,0 Mega pixel, con convertidor de ojo de pescado (Fisheye) FCE9 0,2X. Las fotografías obtenidas se procesaron y analizaron con el software Hemiview Canopy Versión 2.1 SR1 (HemiView, 1999).

Análisis estadístico

Una vez probada la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos, se aplicó ANDEVA unifactorial a las variables medidas para comparar la respuesta entre especies en cada cobertura vegetal y clases de sombra. Se aplicó la prueba de Ji-cuadrada para evaluar el comportamiento individual de las especies en los tipos de cobertura vegetal y clases de sombra. Para comparar el comportamiento de las especies en campo y vivero se utilizó ANDEVA unifactorial. A los datos en porcentaje que no fueron normales se les aplicó arcoseno para normalizarlos y a las tasas se les aplicó logaritmo natural (Zar, 1999).

RESULTADOS

Diferencias microclimáticas

La humedad del suelo y la temperatura ambiental no presentaron diferencias significativas entre las tres coberturas de vegetación ($F = 0,214$; $p = 0,807$; $F = 0,008$; $p = 0,991$; Figuras 2a y 2b). La humedad ambiental fue diferente en las tres coberturas vegetales ($F = 19,03$; $p = 0,001$). Se presentó mayor humedad ambiental promedio en el Bt durante todo el estudio (≥ 80 %), mientras que el Aj mostró los valores más bajos (<62 %; Figura 2c). La radiación solar fue diferente para cada cobertura vegetal ($F = 10,91$; $p < 0,01$). En el Aj se presentó el mayor valor y en Bt el menor valor (Figura 2d).

Germinación

Tiempo de inicio de la germinación

En el campo, las clases de cobertura vegetal no influyeron en el tiempo de inicio de germinación de las semillas evaluadas. En vivero, la diferencia de sombra sólo ejerció influencia en *Eugenia* sp.; ésta mostró menor tiempo en S-80 ($X^2 = 4,78$; $p = < 0,028$) y mayor tiempo en S-40 y S-60. Al comparar la respuesta entre campo y vivero, se encontró que *Eugenia* sp., *L. castilloi*, *M. zapota* y *O. macrocalyx* mostraron similar tiempo de inicio de germinación, mientras que *A. megalocarpon* y *R. mucosa*, fueron diferentes ($F = 36,57$; $p < 0,0037$ y $F = 10,61$; $p < 0,031$; respectivamente). Los menores tiempos lo presentaron *L. castilloi* (3 días en campo y 5 días en vivero) y *O. macrocalyx* (10 días en ambos experimentos); *M. zapota* mostró tiempos intermedios (33 días en campo y 24 en vivero), mientras que *Eugenia* sp. requirió el mayor tiempo para iniciar la germinación (131 días en campo y 123 días en vivero; Figura 3).

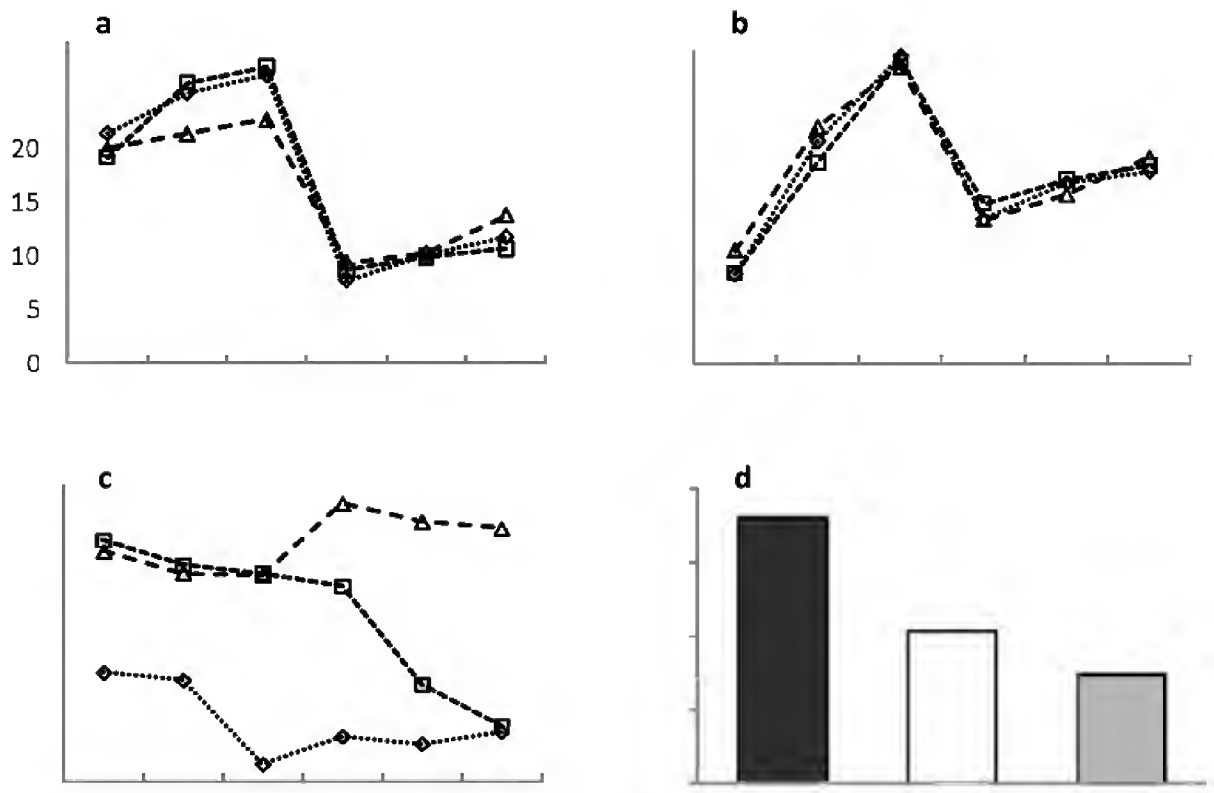

Figura 2. Comparación de las condiciones ambientales en el experimento en campo: a = humedad del suelo (valor de 0 a 10 centibares indica un suelo saturado de agua, de 10 a 30 es óptimo para las plantas; Myers y Harrison 1975); b = temperatura ambiental; c = humedad ambiental y d = radiación solar. (Aj: Acahual joven, Am: acahual maduro y Bt: bosque).

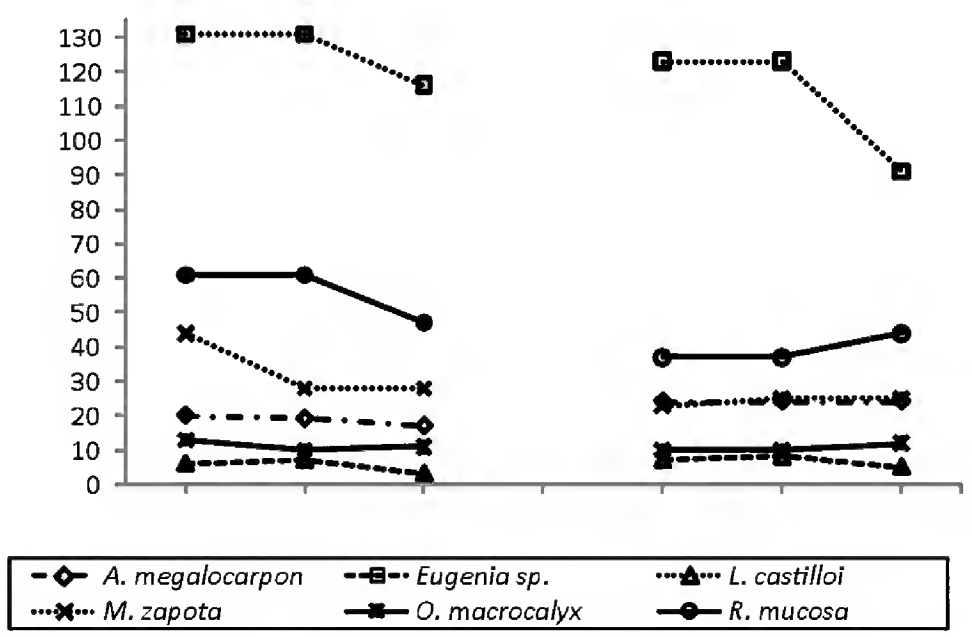

Figura 3. Tiempo de inicio de la germinación para las especies en el experimento en campo: Aj = acahual joven, Am = acahual maduro y Bt = bosque, y en vivero: S-40 = sombra 40%, S-60 = sombra 60%, S-80 = sombra 80%.

Capacidad de germinación

En campo, el tipo de cobertura vegetal influyó en la capacidad de germinación de *A. megalocarpon* y *O. macrocalyx*. En Bt *A. megalocarpon* presentó el mayor valor (65%), cantidad que fue diferente al de Am (32%, $X^2 = 11,29$; $p < 0,001$) y al de Aj (20%, $X^2 = 23,59$; $p < 0,001$), no se encontraron diferencias entre los valores del Am y Aj. *O. macrocalyx* mostró mayor capacidad de germinación en Am (82%) siendo diferente al valor del Aj ($X^2 = 4,2$; $p < 0,04$). No se encontró diferencia entre los valores del Bt y el Aj (Figura 4a). La mayor capacidad de germinación promedio en campo fue de 82% (*O. macrocalyx*) y el menor valor fue de 8% (*Eugenia* sp.).

En el vivero no se encontró diferencia en la proporción de semillas germinadas para cada especie en las tres clases de sombra. Cinco especies mostraron capacidad de germinación ³76%; *R. mucosa* presentó el mayor valor (98%) y *Eugenia* sp. mostró el valor más bajo (11%; Figura 4b).

La capacidad de germinación de las seis especies fue mayor en vivero comparado con el campo (Tabla 2). *A. megalocarpon* y *R. mucosa* alcanzaron poco más del doble de germinación en vivero. *O. macrocalyx* y *L. castilloi* mostraron los valores más altos en los dos experimentos. *Eugenia* sp. presentó menor germinación en ambos experimentos.

Tasa de germinación

Los tipos de cobertura vegetal y las clases de sombra no mostraron diferencias significativas en las tasas de germinación de todas las especies. Los valores de las seis especies fueron más altos en el vivero. Para cinco especies, las diferencias en las tasas de germinación fueron significativas entre el campo y el vivero: *A. megalocarpon* ($F = 91,12$; $p < 0,001$), *L. castilloi* ($F = 26,86$; $p < 0,006$), *M. zapota* ($F = 102,3$; $p < 0,001$), *O. macrocalyx* ($F = 17,64$; $p < 0,013$) y *R. mucosa* ($F = 29,18$; $p < 0,001$).

En campo y vivero los patrones de las tasas de germinación mostrados por las especies fueron similares. *L. castilloi* mostró las mayores tasas de germinación promedio (campo: 13,2 sg sem^{-1}, vivero: 41,7 sg sem^{-1}), mientras que las menores tasas las presentó *Eugenia* sp. (campo: 2,8 sg sem^{-1}, vivero: 3,4 sg sem^{-1}; Figura 5).

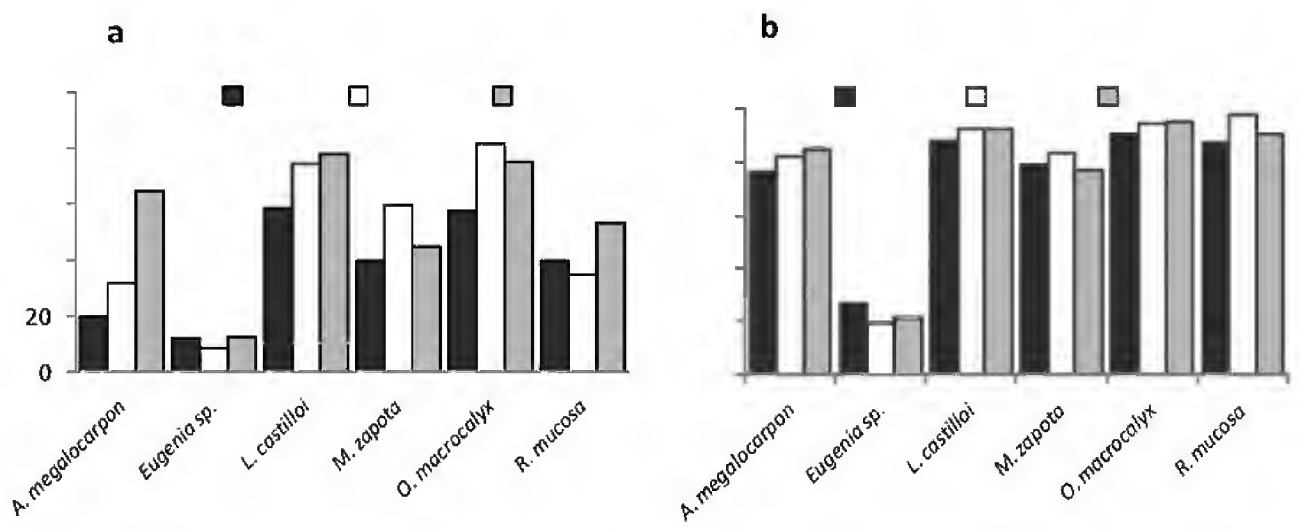

Figura 4. Capacidad de germinación (a) en campo: en Aj = acahual joven, Am = acahual maduro y Bt = bosque; y (b) en vivero en S-40 = sombra de 40%, S-60 = sombra de 60% y S-80 = sombra de 80%.

Tabla 2. ANDEVA de un factor para evaluar las diferencias de la capacidad de germinación del experimento en campo y vivero para las seis especies evaluadas.

Especie	F	p	N
Aspidosperma megalocarpon	9,41	<0,037	6
Eugenia sp.	20,78	<0,01	6
Lonchocarpus castilloi	11,44	<0,027	6
Manilkara zapota	25,02	<0,007	6
Ormosia macrocalyx	8,62	<0,042	6
Rollinia mucosa	58,94	<0,001	6

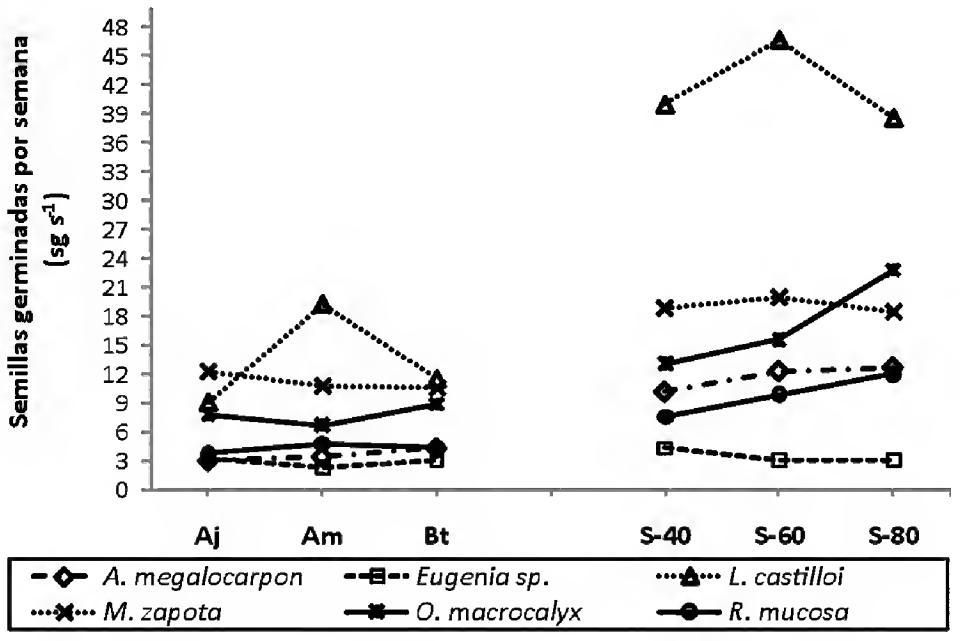

Figura 5. Tasa de germinación de las especies. En campo: Aj = acahual joven, Am = acahual maduro y Bt = bosque; y en vivero: S-40 = sombra 40%, S-60 = sombra 60% y S-80 = sombra 80%.

Depredación de semillas

La cantidad de semillas depredadas para las seis especies estuvo influenciada por al menos una de las clases de cobertura vegetal. *L. castilloi* presentó diferente cantidad de semillas depredadas en los tres tipos de cobertura vegetal, *R. mucosa* fue depredada en igual proporción en Aj y Bt y presentó diferencias significativas con el valor del Am. *A. megalocarpon*. *Eugenia* sp., *M. zapota* y *O. macrocalyx* presentaron diferentes valores en el Aj y Am; la depredación de semillas en el Bt fue similar a los de Aj y Am (Tabla 3).

La cantidad promedio de semillas depredadas entre las especies no mostró diferencias significativas (F = 2,26; p < 0,114). En el Aj se registró la mayor depredación para *A. megalocarpon*

(30%), *L. castilloi* (42%), *M. zapota* (54%) y *O. macrocalyx* (36%). La menor depredación para *L. castilloi* y *M. zapota* se presentó en Bt (22% y 33%, respectivamente). *A. megalocarpon* y *O. macrocalyx* fueron menos depredados en Am (13% y 17%, respectivamente); sólo *Eugenia* sp. mostró menor depredación en Aj (8%; Figura 6a).

Tasa de depredación de semillas

Las tasas de depredación de *A. megalocarpon*, *Eugenia* sp., *O. macrocalyx* y *R. mucosa* no mostraron diferencias en los tres tipos de cobertura vegetal. Para *L. castilloi* y *M. zapota* las tasas no mostraron diferencias significativas entre el Am y el Bt; sin embargo, los valores del Aj fueron mayores a los del Am y del Bt (*L. castilloi*: $X^2 = 5,18$; $p < 0,02$; $X^2 = 7,12$; $p < 0,007$ y *M, zapota*: $X^2 = 11,67$; $p < 0,001$ y $X^2 = 10,7$; $p < 0,001$ respectivamente).

La tasa de depredación de semillas fue diferente para cada especie ($F = 3,12$; $p < 0,04$); la más baja fue de 0,15 sd sem^{-1} (*Eugenia* sp. en Aj) y la más alta fue de 15,2 sd sem^{-1} (*M. zapota*, en Aj). Cuatro especies mostraron mayor tasa de depredación en Aj (*A. megalocarpon*, *L. castilloi*, *M. zapota* y *O. macrocalyx*) y dos especies en Am (*R. mucosa* y *Eugenia* sp.). Para *A. megalocarpon* y *L. castilloi* las más bajas se presentaron en Bt, y para *M. zapota* y *O. macrocalyx* en Am (Figura 6b).

Supervivencia de plántulas

El número total de plántulas supervivientes por cobertura vegetal fue significativamente diferente ($F = 5,04$; $p < 0,021$). En el Aj se presentó mayor supervivencia en cinco de las seis especies evaluadas. Por especie, la cantidad de plántulas supervivientes de *A. megalocarpon*, *Eugenia* sp., *M. zapota* y *R. mucosa* estuvo influenciada por al menos uno de los tipos de cobertura

Tabla 3. Ji-cuadrada que compara la depredación total de semillas en el experimento en campo para seis especies en las tres clases de cobertura vegetal (Aj=acahual joven, Am=acahual maduro y Bt= bosque tropical).

Especie	Aj-Am		Bt-Aj		Am-Bt	
	X^2	p*	X^2	p*	X^2	p*
Aspidosperma megalocarpon	7,24	<0,007	2,0	<0,15	1,73	<0,18
Eugenia sp.	4,26	<0,038	2,77	<0,09	0,17	<0,67
Lonchocarpus castilloi	19,4	<0,001	6,31	<0,01	4,29	<0,03
Manilkara zapota	4,61	<0,031	2,16	<0,14	0,46	<0,49
Ormosia macrocalyx	6,53	<0,013	3,13	<0,07	0,65	<0,41
Rollinia mucosa	5,82	<0,015	0,00	<1,00	5,82	<0,015

*gl=1

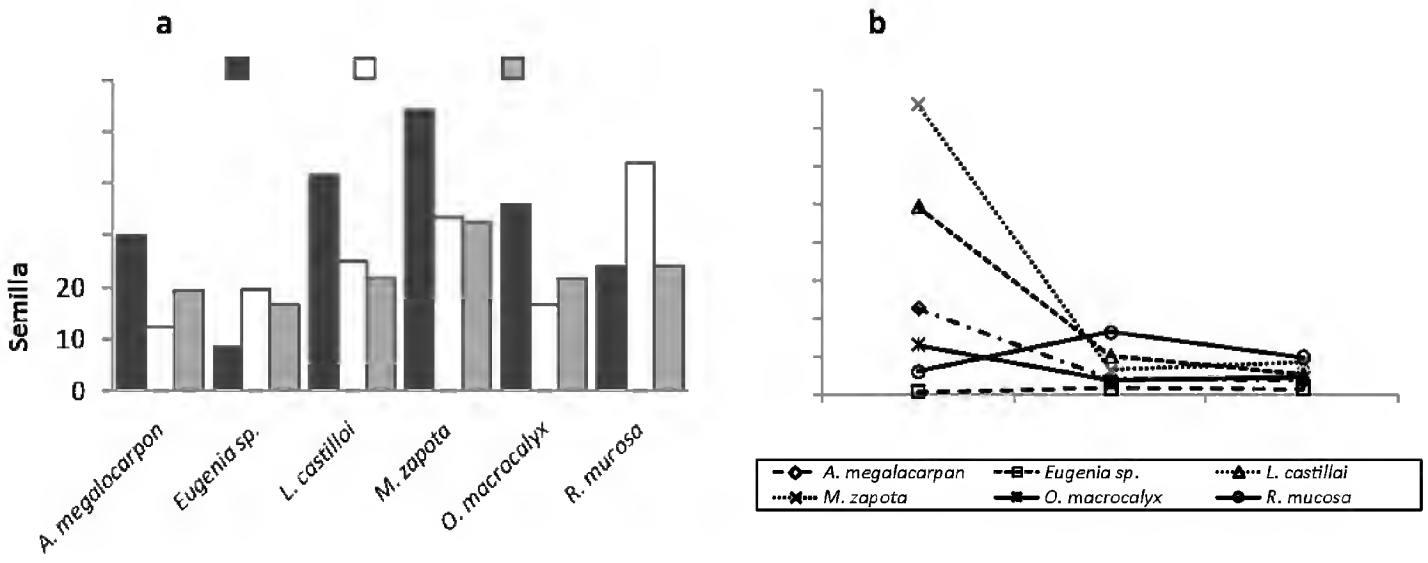

Figura 6. Depredación de semillas. a) Porcentaje total de semillas depredadas y b) tasa de depredación (número de semillas depredadas por semana) en Aj = acahual joven, Am = acahual maduro y Bt = bosque.

vegetal. *A. megalocarpon* mostró diferentes porcentajes de plántulas supervivientes en las tres clases de cobertura vegetal (Aj-Am: X^2 = 26,96; p < 0,001; Aj-Bt: (X^2 = 7,94; p < 0,001; Am-Bt: X^2 = 6,42; p < 0,01), siendo mayor en Aj (70,9%) y menor en Am (20,9%). *Eugenia* sp. y *R. mucosa* presentaron similar supervivencia de plántulas en Am y Bt (50% y 47%; 26% y 25%, respectivamente), la mayor supervivencia de estas dos especies se presentó en Aj (*Eugenia* sp.: 71%, y *R. mucosa*: 52%); estos valores fueron significativamente diferentes a los del Am (X^2 = 3,78; p = 0,049; X^2 = 8,56; p = 0,003; respectivamente) y Bt (X^2 = 5,19; p < 0,022; X^2 = 9,51; p < 0,003). *M. zapota* no mostró diferencia entre el Aj y el Am (50% y 40%), ambas coberturas fueron significativamente diferentes a las valores del bosque (22%; X^2 = 10,68; p < 0,001; X^2 = 5,21; p < 0,02, respectivamente). *L. castilloi* y *O. macrocalyx* no mostraron diferencias significativas entre las coberturas de vegetación (Figura 7a).

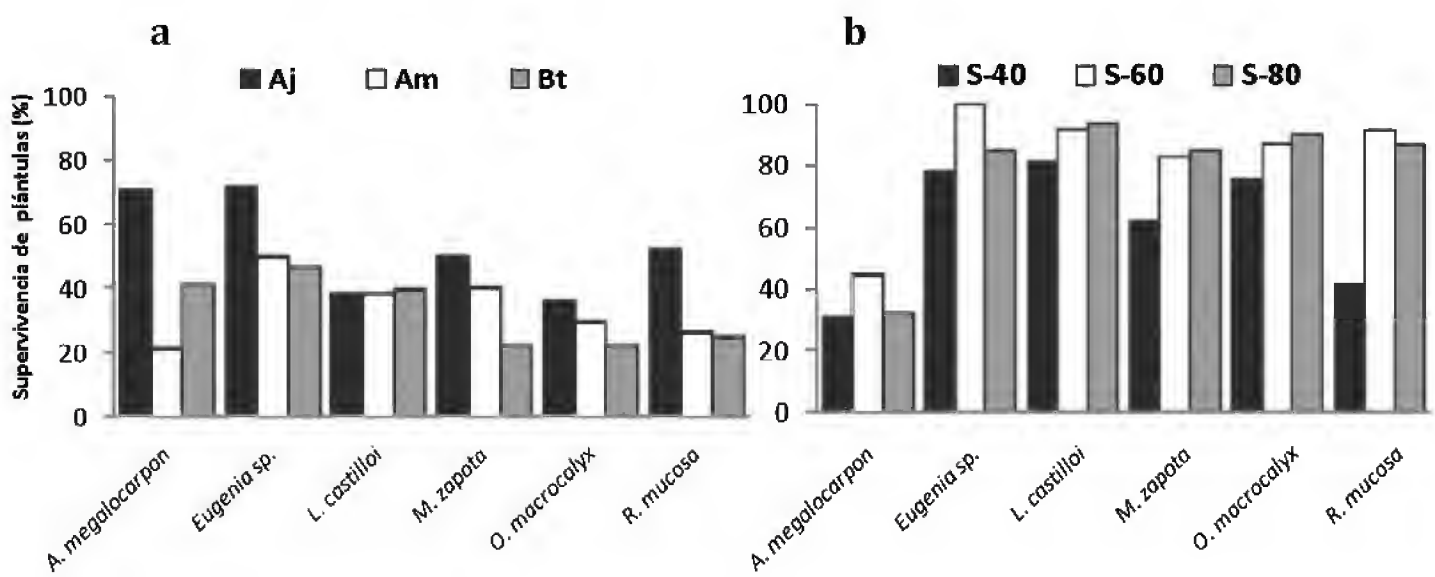

Figura 7. Porcentaje de supervivencia de plántulas. a) en campo: Aj = acahual joven, Am = acahual maduro y Bt = bosque, y b) en vivero: S-40% = sombra de 40%, S-60% = sombra de 60% y S-80 = sombra de 80%.

En el vivero, las diferencias de sombra no ejercieron influencia en la proporción de plántulas supervivientes de *A. megalocarpon*, *Eugenia* sp., *L. castilloi*, *M. zapota* y *O. macrocalyx*. La única especie que se vio influenciada por las clases de sombra fue *R. mucosa*, la cual presentó menor supervivencia en S40% (42%), diferente a los valores de la S-60% (91,5%; $X^2 = 18,6$; $p < 0,001$) y S-80% (87%; $X^2 = 16$; $p < 0,001$). La cantidad de plántulas supervivientes en el vivero fue diferente para cada especie ($F = 5,88$; $p < 0,005$). *A. megalocarpon* mostró la menor supervivencia de plántulas (promedio: 36%), mientras que las demás especies mostraron mejor supervivencia con promedios entre 74%-89% (Figura 7b). En el vivero se encontraron valores de supervivencia más altos para todas las especies en relación al campo, sin embargo sólo tres especies mostraron diferencias significativas: *Eugenia* sp. ($F = 18,59$; $p < 0,01$); *L. castilloi* ($F = 60,6$; $p < 0,002$) y *O. macrocalyx* ($F = 5,01$; $p < 0,67$).

Tasa de crecimiento de plántulas

En campo los tres tipos de cobertura vegetal no influyeron significativamente en las tasas de crecimiento de las especies, el mismo resultado se obtuvo al evaluar el efecto de sombra. La tasa de crecimiento fue significativamente diferente entre las especies, tanto en campo ($F = 197,9$; $p < 0,001$), como en el vivero ($F = 9,89$; $p < 0,001$). La mayor tasa de crecimiento promedio en campo y vivero lo presentó *Eugenia* sp. (2,5 y 1,6 cm sem^{-1}, respectivamente). En campo *L. castilloi* y *A. megalocarpon* mostraron la menor tasa de crecimiento (0,31 y 0,36 cm sem^{-1}, respectivamente) y en el vivero los menores valores lo mostraron *A. megalocarpon* (0,55 cm sem^{-1}) y *M. zapota* (0,69 cm sem^{-1}; Figura 8).

Al contrastar el promedio de crecimiento entre vivero y campo, se encontró que *Eugenia* sp., *M. zapota*, *O. macrocalyx* y *R. mucosa* no mostraron diferencias. *A. megalocarpon* y *L. castilloi* presentaron mayor tasa de crecimiento en vivero que en campo ($F = 17,34$; $p < 0,01$ y $F= 78,1$; $p < 0,001$, respectivamente).

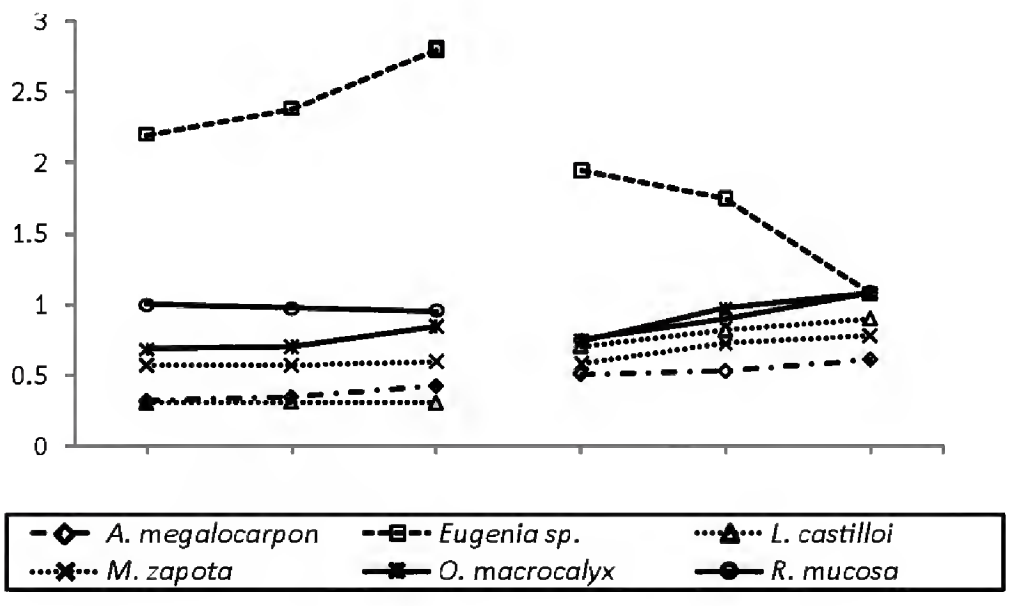

Figura 8. Tasa de crecimiento (centímetros por semana). En campo: Aj=acahual joven, Am=acahual maduro y Bt= bosque; y en vivero: S-40=sombra 40%, S-60=sombra 60% y S-80=sombra 80%.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las condiciones de temperatura, luz y humedad en el suelo, tanto en campo como en vivero, fueron suficientes para que las semillas iniciaran el proceso de germinación y establecimiento, esto coincide con lo señalado por Sánchez *et al.* (2003), Romo (2005), Myers y Harrison (1975) y Holl (1999) para cada variable, respectivamente. El no haber encontrado diferencias en la humedad del suelo y temperatura ambiental en las tres clases de cobertura vegetal y en vivero puede explicarse porque en la zona no se presenta una estación seca marcada y porque el año en que se efectuó el estudio correspondió a un año lluvioso, lo que se reflejó a nivel de parcelas en el experimento a nivel de microclima (Conagua, 2008). En particular, durante el tiempo del experimento se registraron lluvias intensas al menos cada tercer día, excepto en el mes de mayo, que se presentó un periodo seco de 16 días. Por otra parte, los bosques en la zona de estudio están sujetos al aprovechamiento, por lo que la extracción selectiva abre el dosel a niveles similares a los encontrados en los acahuales maduro y joven, lo que puede explicar, en parte, porqué en la mayoría de los parámetros evaluados no se encontraron diferencias de respuesta de las especies entre los tres tipos de cobertura.

Los tiempos de inicio de la germinación obtenidos en este estudio, están dentro de los intervalos reportados por otros autores que experimentaron con semillas recién colectadas y tiempos en la siembra de semillas, similares a los realizados en este estudio (sin pretratamiento y sin almacenamiento); Sautu *et al.* (2006), registraron en condiciones de vivero para *Aspidosperma cruenta* –una especie muy cercana a *A. megalocarpon*– el inicio de la germinación a los 13 días, tiempo que es próximo a los 17 días encontrados en este estudio, mientras que para *O. macrocalyx* determinaron un periodo similar a lo encontrado en este estudio (10 días). Para *O. macrocalyx* Foster y Delay (1998) encontraron que, en condiciones de vivero, el inicio de la germinación fue a los nueve días después de la siembra sin tratamiento pregerminativo y, además, mencionan que el número de días disminuyó a cinco al aplicarle escarificación mecánica. Parraguirre (1992), encontró para *M. zapota* un tiempo de inicio de germinación de 16 días en vivero, mientras que Cordero y Boshier (2003) mencionan que la germinación inicia entre la segunda y quinta semana después de la siembra (ambos sin tratamiento pregerminativo), lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio (24 días). Para *L. castilloi* el tiempo de inicio de la germinación encontrado en este estudio (tres días) es menor a lo registrado por Cordero y Boshier (2003) que mencionan que inicia a germinar después de 16 días con tratamiento pregerminativo. Para *Eugenia uniflora*, Franceschini (2000) determinó un tiempo de inicio de germinación de 24 días, dato que es menor a lo encontrado en este estudio para *Eugenia* sp. (119 días promedio).

Capacidad de germinación en campo y vivero

La capacidad de germinación obtenida en el vivero para *A. megalocarpon*, *L. castilloi*, *M. zapota*, *O. macrocalyx* y *R. mucosa* es alta (>=76%) de acuerdo con el criterio de Arriaga *et al.* (1994) que consideran que bajo criterios comerciales, en condiciones de vivero se debe de obtener al menos 60% de semillas germinadas para considerar como aceptable la producción de plántulas; *Eugenia* sp. quedó fuera de este límite.

Aunque se utilizó el mismo lote de semillas, en el caso del campo las especies mostraron menor porcentaje de germinación con relación al vivero, esto

se debe básicamente a que una considerable proporción de las semillas fueron depredadas por la fauna silvestre o atacadas por hongos, disminuyendo así la cantidad final de semillas. En este sentido, Whelan *et al.* (1991), Martínez-Ramos (1994) y Jordano *et al.* (2002) argumentan que la depredación es la causa principal de la disminución del número final de semillas que germinan en condiciones naturales, por lo que recomiendan que las semillas se oculten para disminuir la probabilidad de depredación. Cabe mencionar que las semillas fueron cubiertas con tierra completamente para minimizar la depredación, a pesar de ello, la fauna desenterró y consumió una proporción considerable de semillas, como sucedió con *M. zapota* (54% en Aj) y *R. mucosa* (45% en Am). A pesar de este fenómeno, los porcentajes de germinación obtenidos en el campo son altos (47% promedio general) en relación con otros estudios similares que registran entre 5% (Martínez-Sánchez, 2004) y 15% de germinación (Pereyra y Fredericksen, 2002) en experimentos similares realizados en vegetación natural. Aunque este porcentaje no alcanza los niveles recomendados por Arriaga *et al.* (1994), estos resultados pueden considerarse adecuados, porque evitan el proceso de transporte, trasplante y mortalidad de las plántulas (Valtierra *et al.*, 2008), además de que resulta más económico.

La alta capacidad de germinación lograda en campo y en vivero se atribuye a que se usaron semillas maduras y también a que fueron sembradas casi inmediatamente después de colectadas, sin afectar el proceso de germinación para especies que pierden la viabilidad rápidamente (Arriaga *et al.*, 1994; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997; Longman, 2003). *A. megalocarpon* que pertenece a la familia Apocynaceae, se caracteriza por presentar semillas que pierden la viabilidad rápidamente (Alzugaray *et al.*, 2006); por otro lado, la siembra inmediata bajo condiciones ambientales adecuadas, evitó la entrada de latencia obligada (*sensu* Arriaga *et al.*, 1994) para las semillas de *M. zapota, O. macrocalyx, L. castilloi* y *R. mucosa* las cuales se consideran ortodoxas (Cordero y Boshier, 2003; Isabeth *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006). Además, las semillas fueron enterradas completamente, lo que evitó la desecación y hubo humedad suficiente para asegurar la germinación (Arriaga *et al.*, 1994).

Capacidad de germinación por especie

Foster y Delay (1998), mencionan que *O. macrocalyx* obtuvo un porcentaje de germinación <1% para semillas dispersadas de forma natural bajo los árboles padres en bosque tropical (después de 65 días de observación). En este estudio, también bajo condiciones de campo y en un bosque natural, la proporción de semillas germinadas para esta especie fue de 75%; esto se puede atribuir a que las semillas fueron sembradas y cubiertas completamente con tierra, manteniendo mayor humedad. Estos mismos autores, colectaron y sin almacenar sembraron las semillas de esta especie, obteniendo en laboratorio 100% de germinación con semillas escarificadas y 48% de germinación con semillas sin escarificar; mientras que en este trabajo en el vivero se obtuvo una germinación ≥90%, a pesar de no haber escarificado. En este estudio, no se escarificaron las semillas debido a que se quería reproducir la germinación como ocurre de manera natural. Las diferencias encontradas pueden deberse a que las semillas fueron colectadas del árbol, garantizando la cosecha reciente.

Sautu *et al.* (2006) registran para *L. castilloi* una capacidad de germinación de 54% en condiciones de laboratorio, Cordero

y Boshier (2003) mencionan una germinación de 70%, en este estudio, la germinación de semillas alcanzada fue un poco mayor a los trabajos revisados (80%).

Parraguirre (1992), menciona que *M. zapota* en condiciones de vivero germina entre el 92 al 100%, en este trabajo la diferencia (80%) se puede deber a que las intensas lluvias que se presentaron propiciaron en algunos casos que las semillas se fueron más abajo dentro del sustrato, dificultando la emergencia de la plúmula al momento de germinar, ya que éstas presentaban la radícula y la plúmula pero sin alcanzar a emerger; estas semillas se consideraron como no germinadas.

Por otro lado, Sautu *et al.* (2006) determinaron 20% de germinación para *Aspidosperma cruenta* en condiciones de laboratorio, dato inferior a lo encontrado en condiciones de vivero para *A. megalocarpon* (81%), lo cual puede deberse a la siembra cercana al periodo de cosecha.

Dado que no se logró identificar la especie de *Eugenia* y que existe poca literatura sobre la misma, no es posible comparar el dato con *Eugenia uniflora* de la cual Franceschini (2000) menciona una capacidad de germinación de 24% en condiciones de laboratorio, resultado que es similar a lo encontrado en el estudio en el vivero.

Depredación de semillas

La poca influencia de las clases de cobertura vegetal en la cantidad de semillas depredadas tal vez se deba a que en el área de estudio los acahuales jóvenes y maduros son parches relativamente pequeños (1-3 ha) que se encuentran inmersos en remanentes de vegetación madura, lo que puede estar provocando que la fauna sea similar o hasta comparatida. Esto coincide con lo reportado por Martínez-Sánchez (2004), que encontró igual depredación de semillas en fragmentos de bosque y bosque continuo en Los Tuxtlas. Contrario a esto, Pereyra y Fredericksen (2002) mencionan mayor depredación de semillas en áreas perturbadas que en zonas conservadas de bosque tropical. La fauna depredadora fue la misma en las tres coberturas vegetales, los organismos causantes de la depredación de las semillas de *M. zapota* y *R. mucosa* básicamente fueron mamíferos como tepescuintle (*Cuniculus paca*) y zereque (*Dasyprocta punctata*); *L. castilloi*, *O. macrocalyx* y *A. megalocarpon* fueron atacadas por una especie de hormiga pequeña que consumió los cotiledones de las semillas al momento en que estos se encontraban hinchados por la absorción de agua. *O. macrocalyx* fue bastante atacada por hongos blancos que en ocasiones llegaron a cubrir completamente algunas semillas, para *Eugenia* sp. no se identificó al depredador. A pesar de que el porcentaje de depredación fue ≤54%, esta se considera baja, ya que en este sentido Martínez-Sánchez (2004), registró tasas de depredación entre 74 y 97%, lo cual se puede atribuir a que las semillas se enterraron.

Influencia del hábitat en la supervivencia de plántulas en campo

La mayor supervivencia de plántulas encontrada en Aj, se pudo deber principalmente a dos factores: *a)* las plántulas no sufrieron daños por caída de ramas, frutos y hojas secas que es la primera causa de mortalidad de plántulas en los bosques tropicales (Clark y Clark, 1984; Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1992; Martínez-Ramos, 1994; Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995), y *b)* este hábitat es un sitio más abierto que combina tanto luz directa como diferentes niveles de sombra que parecen ser más adecuados

para ser asimilados por las plántulas, condición que probablemente les confirió mayor tasa fotosintética y, por consecuencia, mayor probabilidad de supervivencia (Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995; Marañón *et al.*, 2004a).

Los datos obtenidos en este estudio, concuerdan con los de Kumbongmayum *et al.* (2005) que señalan mayor supervivencia en parches de vegetación secundaria que bajo sombra de vegetación conservada. En contraparte Paul *et al.* (2004), registran igual supervivencia de plántulas en parches y bajo bosque para cuatro especies tropicales en Uganda. Por otro lado, Rickera *et al.* (2000), mencionan que las especies varían en sus requerimientos de luz, lo que para algunas puede ser excesivo para otras puede ser la cantidad necesaria. Tal vez por eso, *L. castilloi* y *O. macrocalyx*, especies que son demandantes de luz en su etapa de plántulas (Cordero y Boshier, 2003), mostraron menor vigor en el bosque y probablemente ésta pueda ser la causa de su muerte en un tiempo posterior.

Supervivencia en vivero

Las plántulas del vivero presentaron alto porcentaje de supervivencia (Arriaga *et al.*, 1994; Pereyra y Fredericksen, 2002) el cual fue mayor con relación al del campo. Esto puede deberse a que las plántulas no estuvieron tan expuestas a la depredación, con excepción de *A. megalocarpon* cuyas plántulas fueron atacadas en una sola noche por hormigas arrieras. Esto ha sido mencionado como uno de los principales problemas de pérdida de plántulas en vivero (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Por otra parte, en el corto periodo de sequía, se aplicó riego previniendo el posible estrés hídrico a las plántulas (Marañón *et al.*, 2004a). Las especies no mostraron diferencias significativas en la mortalidad como respuesta a la cantidad de sombra suministrada. Sin embargo, *R. mucosa* y *M. zapota*, que son especies esciófitas típicas de bosques primarios (Ibarra-Manríquez *et al.*, 2001; Pennington y Sarukhán, 2005) presentaron mayor mortalidad en donde hubo mayor exposición solar (sombra 40%).

Crecimiento de plántulas en campo y vivero

Mientras que diversos autores concuerdan que en el bosque conservado se observa menor crecimiento de plántulas y el mayor crecimiento ocurre en sitios donde existe más incidencia de luz, como en parches de vegetación secundaria (Paul *et al.*, 2004; Khumbongmayum *et al.*, 2005), bordes de claros (Pereyra y Fredericksen, 2002) y zonas abiertas completamente (Marañón *et al.*, 2004b), en este estudio no se observó influencia por el tipo de cobertura vegetal. La posible explicación a esta diferencia es porque en el área de estudio los niveles de luz registrados en el sotobosque (51,4%), superan por mucho los niveles de luz de las áreas conservadas de los estudios revisados, lo cual se debe a la intensidad de uso de este recurso.

El mayor crecimiento en vivero para *A. megalocarpon*, *L. castilloi*, *M. zapota* y *O. macrocalyx* se puede deber a que las plántulas no estuvieron expuestas tan abiertamente a defoliación y a patógenos (Martínez-Ramos, 1994) y porque el sustrato comercial usado tiene la cualidad de contener nutrientes que se van liberando gradualmente (Arriaga *et al.*, 1994, Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Los niveles de luz usados en el vivero no resultaron estresantes para las plántulas de las diferentes especies, al menos en las primeras etapas evaluadas. En relación con esto, Martínez-Ramos (1994), Plana (2000), Rickera *et al.* (2000)

mencionan que muchas especies tienen intervalos amplios de tolerancia de luz y nutrientes y que ésto puede variar entre las especies y entre el estado de plántula y juvenil. De las especies utilizadas en este estudio *M. zapota* y *R. mucosa* son propias de las selvas maduras (Pennington y Sarukhán, 2005), mientras que *O. macrocalyx*, *A. megalocarpon, L. castilloi* y *Eugenia* sp. pueden formar parte de la selva o presentarse en fases avanzadas de la sucesión. En este caso, las primeras pudieran corresponder a lo que Spurr y Barnes (1982) llaman especies de fase vacía, las cuales germinan y se establecen bajo el dosel y son lo suficientemente tolerantes a la sombra ya que las plántulas sobreviven en un número pequeño y esperan algún evento que les permita completar su desarrollo.

A modo de conclusión se puede decir que las condiciones ambientales del área de estudio en las tres clases de cobertura vegetal son las adecuadas para la germinación, crecimiento y establecimiento de plántula de las especies estudiadas. Que la siembra directa en campo con semillas recién colectadas puede ser una opción viable como estrategia para la restauración de áreas degradadas, aunque se recomienda que la siembra de semillas en campo se realice durante la época de lluvias. Que las tasas de germinación de semillas y supervivencia de plántulas en el vivero son aceptables en términos comerciales para la producción de plántulas. Que las clases de sombra usadas no ejercen influencia en la germinación, supervivencia y crecimiento de las especies evaluadas. Que la siembra de semillas disminuye la probabilidad de ser depredadas. La información generada nos permite sugerir la utilización de las especies estudiadas en la rehabilitación de áreas degradadas del bosque original.

REFERENCIAS

Alzugaray C., N.J. Carnevale, A.R. Salinas y R. Pioli. 2006. Calidad de semillas de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. Quebracho. Revista de ciencias forestales 13:26-25.

Arriaga, M.V., V.G. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. 1ª edición. Instituto Nacional de Ecología, SEDESOL, UNAM. México, D.F. 179 p.

Camacho-Cruz, A., M. González-Espinosa, J.H.D., Wolf y B.H.J. de Jong. 2000. Germination and survival of tree species in disturbed forests of the highlands of Chiapas, Mexico. Canadian Journal of Botanic 78:1309-1318.

Clark, D.A. y D.B. Clark. 1984. Spacing dynamics of a tropical rain forest tree: evaluation of the Janzen-Connell model. The American Naturalist 124:769-788.

Conagua. 2008. Precipitación diaria de estaciones hidroclimatológicas de la entidad. Estación Boca del Cerro, Tenosique. Consultada octubre del 2008. http://www.tabasco.gob.mx.

Cordero, J. y D.H. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica un manual para extensionistas. Department of Plant Sciences University of Oxford-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 1077 p.

Didham R.K. y J.H. Lawton. 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. Biotropica 31:17-30.

Enciclopedia de los Municipios de México. 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Tabasco, Tabasco, México. http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/index.html

Figueroa, J. 2000. Aspectos ecológicos de la germinación en especies del bosque templado-húmedo del sur de Chile. Revista Chilena de Flora y Vegetación Chloris Chilensis. 3(2). http://www.chlorischile.cl/semillas/semillas.htm.

Foster, S.M. y L.S. Delay. 1998. Dispersal of mimetic seeds of three species of *Ormosia* (Leguminosae). Journal of Tropical Ecology 14:389-411.

Franceschini, C.M. 2000. Morfología de embriones y plántulas en mirtáceas del Nordeste Argentino. Ciencia y Tecnología, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 3 p. http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/biologia/b-039.pdf

Guariguata R.M. y Ostertag R. 2002. Sucesión secundaria. p: 592-623. *In*: Guariguata, M. R. y G. H. Kattan (eds). Ecología y conservación de bosques tropicales. Libro Universitario Regional. Cártago, Costa Rica.

Harms, K.E. y C.E.T. Paine. 2003. Regeneración de árboles tropicales e implicaciones para el manejo de bosques naturales. Revista Ecosistemas 3. 16p. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8893/1/ECO_12%283%29_03.pdf

Harper, A.K., S.E. MacDonald, J.P. Burton, J. Chen, D.K. Brosofske, C.S. Saunders, S.E. Euskirchen, D. Roberts, S.M. Jaiteh y P. Esseen. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. Conservation Biology 19(3):768-782.

HemiView. 1999. User Manual Version 2.1. Delta-T Devices, Ltd. Cambridge, UK.

Holl, D.K. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. Biotropica 31(2):229-242.

Ibarra-Manríquez, G., M. Martínez-Ramos y K. Oyama. 2001. Seedling functional types in a lowland rain forest in Mexico. American Journal of Botany 88(10):1801-1812.

INEGI. 2006. Cuaderno Estadístico Municipal de Tenosique, Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem06/estatal/tab/m017/index.htm

Isabeth L., M. Villafana, N. Guezou, F. Chabai, L. Germosén-Robineau. 2003. Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales, Tomo III, Árboles Dominicanos. Enda-Caribe, AFVP & Fundación Moscoso Puello, Santo Domingo. 152 p.

Jordano, P., R. Zamora, T. Marañón y J. Arroyo. 2002. Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo. Aspectos demográficos, ecofisiológicos y genéticos. Ecosistemas 10(1). http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/312.pdf.

Khumbongmayum, D.A., M.L. Khan y R.S. Tripathi. 2005. Survival and growth of seedlings of a few tree species in the four sacred groves of Manipur, Northeast India. Current Science 88(10-11):1781-1788.

Lanly, J.P. 2003. Deforestation and forest degradation factors. Congress Proceedings B, XII World Forestry Congress, 21-28 September 2003, Quebec, Canada. Pp. 75-83.

Longman K.A. 2003. Raising seedlings of tropical trees. Tropical trees: Propagation and planting manuals. SRM Production Services, Malaysia. Pp.138. http://www.fao.org/DOCREP/006/AD230E/AD230E00.HTM

Lopes J.C., P.C. Dias y C.M. Peixoto de Macedo. 2006. Tratamentos para acelerar a germinação e reduzir a deterioração das sementes de *Ormosia nitida* vog.[1]. R. Árvore, Viçosa-MG 30(2):171-177.

Marañón, T., J.J. Camarero, J.C. Mario Díaz, J.M. Espelta, A.H.P. Jordano, F. Valladares, M. Verdú y R. Zamora. 2004a. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. *In*: Valladares F. (ed). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España. Pp. 69-99.

Marañón, T., R. Villar, J.L. Quero y I.M. Pérez-Ramos. 2004b. Análisis del crecimiento de plántulas de *Quercus suber* y *Q. canariensis*: Experimentos de campo y de invernadero. Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 20:87-92.

Martínez-Ramos, M. y E. Álvarez-Buylla. 1995. Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 56:121-153.

Martínez-Ramos, M. 1994. Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. Boletín de la Sociedad Botánica de México 54:179-224.

Martínez-Sánchez, J.L. 2004. Fragmentación y remoción de semillas en el piso de la selva húmeda tropical: el caso de la reserva natural de Los Tuxtlas, sureste de México. Universidad y Ciencia 20(39):7-14.

Mulawarman, J.M. Roshetko, S.M. Sasongko y D. Irianto. 2003. Tree seed management - seed sources, seed collection and seed handling: a field manual for field workers and farmers. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) and Winrock International. Bogor, Indonesia. 54 p.

Myers, J.M. y D.S. Harrison. 1975. Drip and overhead sprinkler irrigation effect on soil moisture in a citrus grove. Proceedings of Florida State Horticultural Society 88:10-16.

Newmark, W.D. 2001. Tanzania forest edge microclimatic gradients: dynamic patterns. Biotropica 33: 2-11.

Ochoa-Gaona, S., I. Pérez-Hernández y B.H.J. de Jong. 2008. Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. Revista de Biología Tropical 56(2):657-673.

Parraguirre, L.C. 1992. Germinación de las semillas de trece especies forestales comerciales de Quintana Roo. Memorias del Taller Madera, Chicle y Milpa, Contribuciones al Manejo Integral de las Selvas de Quintana Roo, México. PROAF, INIFAP, USAID y WWF-US. Chetumal, Quintana Roo. Pp. 67-80.

Paul, R.J., M. A. Randle, C.A. Chapman y L.J. Chapman. 2004. Arrested succession in logging gaps: is tree seedling growth and survival limiting? African Journal of Ecology 42:245-251.

Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología, Fondo de Cultura Económica, México D.F., México. 523 p.

Pereyra, M.M. y S.T. Fredericksen. 2002. Regeneración por semilla de especies maderables en áreas de aprovechamiento forestal en un bosque húmedo tropical en Bolivia. Documento Técnico. Objetivo Estratégico de Medio Ambiente (USAID/Bolivia). 16 p.

Plana, E. 2000. Introducción a la ecología y dinámica del bosque tropical. Curso sobre gestión y conservación de bosques tropicales. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. http://politicaforestal.ctfc.es/es/documents/ponb.pdf.

Rickera, M., C. Siebeb, S. B. Sánchez, K. Shimadab, C.B. Larson, M. Martínez-Ramos y F. Monagninie. 2000. Optimising seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in a Mexican rainforest. Forest Ecology and Management 139:63-77.

Romo, R.M. 2005. Efecto de la luz en el crecimiento de plántulas de *Dipteryx micrantha* Harms "shihuahuaco" transplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. Ecología Aplicada 4(1 y 2):1-8.

Roxburgh, J.R. y D. Kelly. 1995. Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments. Zealand Journal of Ecology 19(2):213-217.

Sánchez, D., E. Arends y V. Garay. 2003. Caracterización de las semillas de seis especies frutales arbóreas, usadas por la etnia Piaroa en la Reserva forestal Sipapo, estado Amazonas, Venezuela. Revista Forestal Venezolana 47(2):31-36.

Sautu, A., M.J. Baskin, C.C. Baskin y R. Condit. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. Forest Ecology and Management 234:245-263.

Soilmoisture. 1998. Manual para el manejo de tensiómetro y recomendaciones de uso. Santa Bárbara, California. 24 p.

Spurr, A.H. y B.V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. AGT Editor, México. 690 p.

Valtierra, P.E., S.O.T. Magaña, L.M. Vanegas, C.M.P. Lozano, G.C.M. Hernández. y L.H.P. Fierro. 2008. Reforestación; Evaluación externa ejercicio fiscal 2007.COLPOS, CONAFOR, SEMARNAT.115 p.

Vázquez-Yanes, C. y A. Orozco-Segovia. 1992. El bosque lluvioso en América Tropical: Dinámica forestal, reforestación, manipulación de las semillas y problemas de manejo. Tree Planters' Notes 43(4):119-124.

Vázquez-Yanes, C., A. Orozco, M. Rojas, M.E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. Fondo de Cultura Económica. México.

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/157/htm/lcpt157.htm.

Whelan, C. J., M.F. Willson, C.A. Tuma y I. Souza-Pinto. 1991. Spatial and temporal patterns of postdispersal seed predation. Canadian Journal of Botany 69:428-436.

Willan, R.L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales, estudio con especial referencia a los trópicos. FAO Montes 20/2. Roma, Italia. 502 p.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Nueva Jersey, EU. 663 p.

Manuscrito recibido el 28 de mayo de 2009
Aceptado el 04 de mayo de 2010

Este documento se debe citar como: Pérez-Hernández, I., S. Ochoa-Gaona, G. Vargas-Simón, M. Mendoza-Carranza y N. Antonio González-Valdivia. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* 17(1):71-91.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Análisis de once poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental

Analysis of eleven natural populations of *Taxus globosa* in the Sierra Madre Oriental

Mario A. García-Aranda[1], A. Eduardo Estrada-Castillón[1], Enrique Jurado-Ybarra[1] y Dino U. González-Uribe[2]

RESUMEN

Se ubicaron y estudiaron once poblaciones de *Taxus globosa* a lo largo de la Sierra Madre Oriental en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, México. A través de muestreo total se contabilizaron todos los individuos en las poblaciones, registrando además altura, cobertura aérea, diámetro y densidad de esta especie. Las poblaciones se organizaron en bases de datos en intervalos de clase, en seis categorías para altura, siete categorías para cobertura y siete categorías para diámetro. La prueba de χ^2 indica que todas las poblaciones tienen una distribución normal. La cobertura y el diámetro mostraron valores altos de correlación (r = 0.9). La tendencia de las curvas poblacionales indica que las poblaciones más aisladas de centros de población o de sitios inaccesibles como Las Tinajas, Julilo y La Camotera son las que poseen una proporción de individuos juveniles mayor que el resto de las poblaciones del noreste..

PALABRAS CLAVE:
Cuantificación, distribución, noreste de México, *Taxus globosa*.

ABSTRACT

Eleven populations of *Taxus globosa* were located and evaluated along of the Sierra Madre Oriental in the States of Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico. A complete inventory of the individuals in all *Taxus globosa* populations was recorded; data of height, diameter, canopy cover and density were also evaluated. The population data were organized in databases on rank classes into six height categories, seven canopies cover categories and seven diameter categories. A χ^2 test indicates that all the populations showed a normal distribution. The canopy cover and diameter variables showed higher values in correlation analysis (r = 0.9). The population curve tendency on height, canopy cover and diameter shows that isolated or inaccessible populations of *Taxus globosa* Las Tinajas, Julilo and La Camotera are the populations with more young individuals than the rest of the northeastern populations.

KEYWORDS:
Quantification, distribution, northeastern Mexico, *Taxus globosa*.

1 Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. magarcia_silvae@hotmail.com. aeduardoestradac@prodigy.net.mx; ejurado@fcf.uanl.mx.
2 Depto. de Estadística y Cálculo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. digon_mx@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

El género *Taxus* se compone de 24 especies y 55 variedades, de éstas, *Taxus globosa* var. *globosa* es la única que se distribuye en México (Spjut, 2007). Las poblaciones de *T. globosa* en la región noreste de México se caracterizan por ocurrir de manera escasa en los doseles de bosques mixtos, localizados generalmente en cañadas o laderas, con exposición húmeda y en altitudes que oscilan entre los 1800 y los 2300 msnm (Estrada *et al.*, 2006). Es una especie de lento crecimiento, tolerante a la sombra, asociado a bosques de condición clímax (Dovčiak, 2002). El conocimiento de su distribución tiene importancia económica debido a que de esta especie se extraen fitoquímicos útiles en tratamientos contra el cáncer (Shemluck *et al.*, 2003; Soto *et al.*, 2005). La presencia de taxol en *T. globosa* es comparable con los niveles encontrados en especies europeas (Soto *et al.*, 2005). A pesar de lo anterior, aun existen pocos estudios sobre la especie en territorio mexicano y específicamente en la región noreste, lo que justifica el estudio en un intento por aportar información sobre su ecología y dinámica poblacional que contribuya a un manejo sustentable de la especie. *Taxus globosa* tiene una distribución discontinua y restringida a micro-hábitats muy particulares y es considerada como rara en las categorías oficiales de conservación de especies en México (García y Castillo, 1999; Alanís *et al.*, 2004). Debido a que en el noreste de México nunca se habían realizado conteos de individuos de la especie, no se conocían registros de cuántas poblaciones existen, además la información bibliográfica sobre ecología de *Taxus* es aún escasa, especialmente sobre la especie mexicana y su distribución en el noreste de México. Se ha localizado en una zona montañosa del municipio de Rioverde, San Luis Potosí (García, 1999); Zamudio (1992) considera que esta especie tiene una distribución aparentemente disyunta; se ha localizado en el estado de Chiapas, específicamente en laderas húmedas con bosque de *Pinus* y bosque de *Abies* (Contreras y Luna, 2001). En el estado de Hidalgo, Zavala *et al.* (2001), establecieron perspectivas para su posible uso e hicieron un estudio demográfico en el Parque Nacional El Chico (Zavala-Chávez, 2002). De acuerdo con observaciones directas hechas en sitio, en Tamaulipas se le ha ubicado en el bosque nublado de la Reserva El Cielo y en Nuevo León, se encuentra en el dosel bajo de comunidades boscosas de *Quercus-Pinus* y *Picea-Abies* (obs. pers.).

OBJETIVO

Ubicar e inventariar las poblaciones de *Taxus globosa* en el Noreste de México y determinar la distribución por clases de altura, diámetro y cobertura aérea de los individuos, con la finalidad de conocer su cantidad y distribución.

METODOLOGÍA

El área de estudio está ubicada en una porción de la Sierra Madre Oriental, entre 23°02'31" y 25°19'56" Latitud Norte; y 98°57'39,5" y 100°14'58" Longitud Oeste (Figura 1). Las poblaciones de *Taxus globosa* registradas en éste se presentan en la tabla 1. Al ubicar las poblaciones en un sistema de información geográfica, se determinó que algunas poblaciones consideradas en un principio independientes, estaban relacionadas espacialmente en pequeños complejos, por lo que se decidió agruparlas y manejarlas como una sola, como el caso de Potrero Redondo, al que se le sumaron los conteos de La Guayamenosa, La Mesa Larga y Arroyo de la Pila; de igual forma, también fueron reagrupados en una sola

población cuatro conteos realizados en Las Tinajas, Zaragoza.

En los conteos de las poblaciones El Diente, en la Sierra de San Carlos y San José, localizada en la reserva de la biosfera El Cielo, municipio de Gómez Farías, sólo se registró la presencia de uno y dos árboles de *Taxus globosa* respectivamente, por lo que fueron descartados de los análisis posteriores debido a la escasez de información. En total, al final se tuvieron once poblaciones.

En cada población de *Taxus globosa* se cuantificaron todos los individuos observables, para cada individuo localizado se midió su altura total (en metros, con cinta métrica), cobertura de copa (en metros cuadrados, con cinta métrica en largo y ancho, calculada multiplicando largo x ancho) y usando una forcípula se registró el diámetro normal (basal para individuos de baja talla o de fuste no recto, en centímetros). Estas variables fueron analizadas primero mediante la prueba de χ^2 de Pearson ($\chi = Z_1^2 + \ldots + Z_k^2$; donde Z_i son variables aleatorias normales independientes de media cero y varianza uno) para determinar si existía normalidad en la distribución de los datos registrados.

Con el propósito de analizar y observar variantes entre poblaciones, se realizaron estimaciones del promedio (Σx_i/N) y error típico de la media de las tres variables, considerando la totalidad de individuos en cada población.

Para conocer la relación proporcional existente entre altura, cobertura aérea y diámetro en las poblaciones, se establecieron pruebas en Excel® del

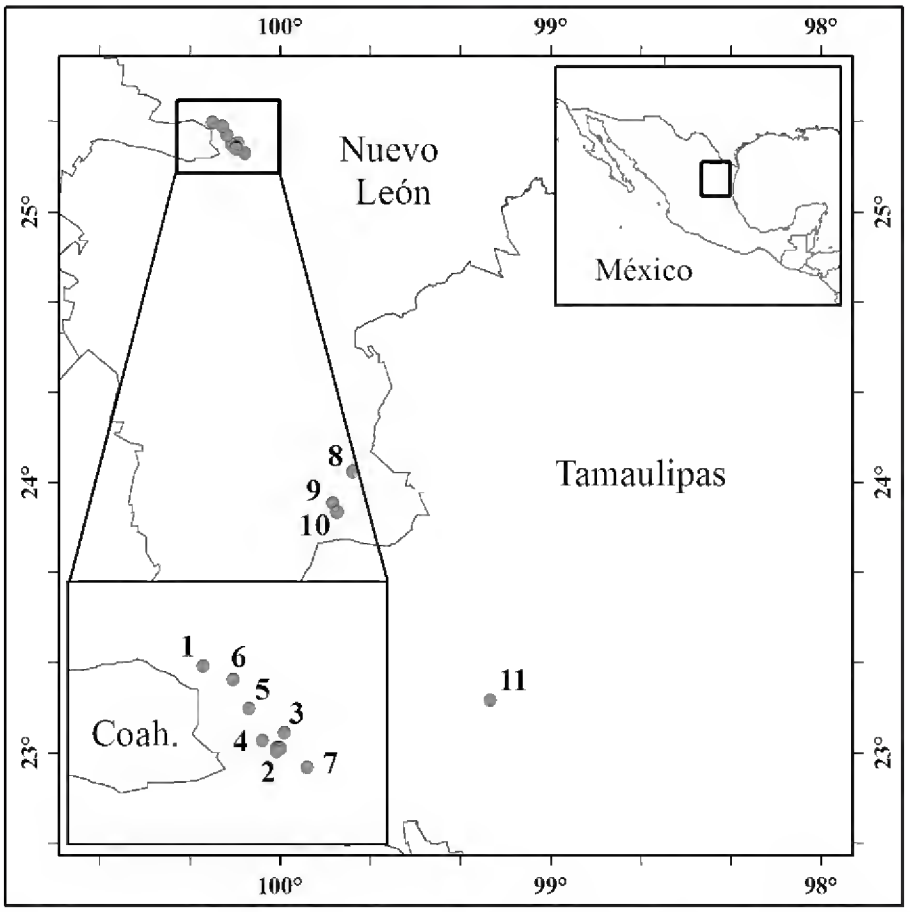

Figura 1. Mapa de ubicación de 11 poblaciones de *Taxus globosa* en el Noreste de México. 1. El Tejocote, 2. Potrero Redondo, 3. El Arroyo de las Cuevas, 4. Curva de la Raíz, 5. El Rancho, 6 Ej. La Camotera, 7. La Trinidad, 8. Agua Fría, 9. Brecha de Zaragoza, 10. Las Tinajas y 11. Julilo.

Tabla 1. Poblaciones de *Taxus globosa* registradas en este estudio.

Población	Comunidad	Municipio	Estado	Sitio	
				Latitud	Longitud
1	El Tejocote	Santiago	N.L.	25º 19' 56"	100º 14' 58"
2	Potrero Redondo	Santiago		25º 14' 21"	100º 09' 54"
	Arroyo de la Pila	Santiago		25º 14' 20"	100º 09' 39"
	La Mesa Larga	Santiago		25º 14' 18"	100º 09' 52"
	Arroyo de la Pila	Montemorelos		25º 14' 17"	100º 09' 39
	La Guayamenosa	Montemorelos		25º 14' 03	100º 09' 54
3	El Arroyo de las Cuevas	Santiago	N.L.	25º 15' 21"	100º 09' 23"
4	Curva de la Raíz	Santiago	N.L.	25º 14' 52"	100º 10' 54"
5	El Rancho	Santiago	N.L.	25º 17' 01"	100º 11' 49"
6	Ej. La Camotera	Santiago	N.L.	25º 19' 02"	100º 12' 54"
7	La Trinidad	Montemorelos	N.L.	25º 13' 01"	100º 07' 47"
8	Agua Fría	Aramberri	N.L.	24º 02' 28"	99º 43' 57"
9	Brecha de Zaragoza		N.L.	23º 55' 23"	99º 48' 20"
10	Las Tinajas	Zaragoza	N.L.	23º 53' 28"	99º 47' 29",
				23º 53' 24,7"	99º 47' 28,6"
				23º 53' 26"	99º 47' 17"
				23º 53' 24"	99º 47' 18"
11	Julilo	Jaumave	Tamaulipas	23º 11' 44"	99º 13' 23"
	El Cielo	Gómez Farías		23º 02' 31,9"	99º 14' 6,6"
	Cerro del Diente	San Carlos		24º 31' 42,4"	98º 57' 39,5"

coeficiente correlación de Pearson ($r = \sigma XY/\sigma X * \sigma Y$; donde σXY es la covarianza de (X,Y) y σX y σY las desviaciones típicas de las distribuciones marginales), entre las combinaciones, altura-cobertura, altura-diámetro y cobertura-diámetro.

Una vez determinada la normalidad en los datos, posteriormente éstos fueron organizados en tallas de intervalos de acuerdo con el criterio de estructura de sitios (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). Para altura se consideraron seis intervalos de clase, para cobertura se consideraron siete y para diámetro también siete; estos intervalos de clase se detallan en la tabla 2. Individuos con altura de 2 m o menores, cobertura de 1,0 m^2 y diámetro de 6,0 cm o menores se consideraron como jóvenes, dentro del intervalo I (donde quedaron incluidas también las plántulas).

La tendencia en la distribución de las clases de altura, diámetro y cobertura (Método de sitio cuantitativo, Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974) fue interpretada a partir de gráficos de valores porcentuales de las frecuencias de clase, en cada una de las tres variables para determinar el estatus poblacional a través de porcentajes de individuos en cada clase, dentro de los intervalos de clase ya establecidos, considerando una población normal aquella que muestra una típica curva de tipo descendente.

Para hacer la estimación de densidad de *Taxus globosa* se calculó de manera directa, a través de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la superficie total muestreada (ha) en cada una de las poblaciones y mediante el uso del software Arcview GIS se crearon los polígonos de cada sitio, los cuales, se proyectaron en unidades de mapa UTM zona 14 con el DATUM de Norteamérica de 1927. Posteriormente, se observó la relación en cociente del número de individuos en la superficie muestreada de cada población para obtener un valor de densidad expresado en individuos de *Taxus globosa* por hectárea (Densidad = N/Área, donde N representa el número de individuos en la población).

Tabla 2. Intervalos de clase considerados para altura, cobertura y diámetro.

Intervalo de clase	Altura (m)	Cobertura (m^2)	Diámetro (cm)
I	0,1 - 2,0	0,1 1,0	0,1 - 6,0
II	2,1 - 4,0	1,1 - 10,0	6,1 - 10,0
III	4,1 - 6,0	10,1 - 20,0	10,1 - 14,0
IV	6,1 - 8,0	20,1 - 30,0	14,1 - 20,0
V	8,1 - 10	30,1 - 50,0	20,1 - 25
VI	> 10	50,1 - 100	25,1 - 30
VII	—	> 100	> 30

RESULTADOS

Las pruebas de χ^2 realizadas a las series de datos de las tres variables medidas en once poblaciones de *Taxus globosa* mostraron que estas se distribuyen de manera normal teniendo valores de χ^2 significativos con probabilidad <0,001, considerando que los valores de χ^2 obtenidos para las tres variables fueron muy diferentes entre las poblaciones (Tabla 3).

La correlación entre las variables altura-cobertura muestra valores de correlación significativos en cinco poblaciones: Las poblaciones de El Arroyo de las Cuevas, Potrero Redondo, Ej. La Camotera, La Trinidad y El Rancho tienen un valor de $r > 0,75$. La relación de variables altura-diámetro muestra cuatro poblaciones con valores de correlación significativos ($r > 0,77$): Julilo, El Arroyo de las Cuevas, Potrero Redondo y Ej. La Camotera. La relación de variables cobertura-diámetro mostró cuatro poblaciones con valores de correlación significativos ($r > 0,77$): El Arroyo de las Cuevas, Ej. La Camotera, Julilo y El Rancho (Tabla 4).

Tabla 3. Valores de $\chi 2$ y probabilidades en las once poblaciones de *Taxus globosa* estudiadas.

Población	$\chi 2$ Altura	p	$\chi 2$ Diámetro	p	$\chi 2$ Cobertura	p
El Tejocote, Santiago N. L.	7,330	<0,001	2,267	<0,001	16,033	<0,001
Potrero Redondo Santiago, N. L.	47,976	<0,001	377,870	<0,001	1537,300	<0,001
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	38,936	<0,001	57,272	<0,001	1264,000	<0,001
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	404,310	<0,001	86,328	<0,001	236,620	<0,001
El Rancho, Santiago N. L.	2,492	<0,001	5,475	<0,001	2,763	<0,001
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	16,251	<0,001	102,790	<0,001	258,500	<0,001
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	2,343	<0,001	3,714	<0,001	5,771	<0,001
Agua Fría, Aramberri N. L.	142,430	<0,001	11,117	<0,001	27,527	<0,001
Brecha de Zaragoza, N. L.	5,838	<0,001	9,351	<0,001	131,410	<0,001
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3316,900	<0,001	6912,900	<0,001	4057,200	<0,001
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	2,492	<0,001	5,475	<0,001	2,763	<0,001

Tabla 4. Coeficientes de correlación (r) entre variables altura, cobertura y diámetro.

Población	N	Alt-Cob	Alt-Diam	Cob-Diam
El Tejocote, Santiago N. L.	91	0,618	0,721	0,624
Potrero Redondo Santiago, N. L.	3460	0,765	0,691	0,682
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	540	0,804	0,807	0,900
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	1000	0,634	0,585	0,673
El Rancho, Santiago N. L.	59	0,736	0,660	0,770
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	203	0,764	0,786	0,827
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	70	0,747	0,610	0,570
Agua Fría, Aramberri N. L.	273	0,150	-0,118	0,603
Brecha de Zaragoza, N. L.	148	0,604	0,697	0,642
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3035	0,221	0,067	0,003
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	0,695	0,870	0,785

Altura

En la tabla 5 se muestran los valores de media y error típico de la media de la variable altura, donde Agua Fría es la población con mayor altura promedio mientras que el Ej. La Camotera presenta la altura menor entre las 11 poblaciones de *Taxus globosa*.

La tendencia en distribución en los valores porcentuales de altura mostró cuatro tipos de curva: *1*. Una curva de tipo descendente, donde predominan porcentajes de las clases iniciales I y II; los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales IV hasta VI, como el caso de Las Tinajas (Figura 2) y Ej. La Camotera. *2*. Donde los valores porcentuales de la clase I son menores a la clase II y posteriormente los valores porcentuales van disminuyendo de manera gradual hacia las clases II a la VI como en las poblaciones de La Trinidad (Figura 2), Brecha de Zaragoza, El Tejocote, Potrero Redondo, El Arroyo de las Cuevas, Curva de la Raíz y El Rancho. *3*. Donde la curva tiene pocos individuos en la clase I y tiene los valores porcentuales más altos en la clase intermedia II, como en Agua Fría (Figura 2), y *4*. Donde la curva tiene una forma de tipo campana invertida debido a que los valores porcentuales de las clases I y VI son más altos que los porcentajes de las clases intermedias (II a V) como en la población de Julilo (Figura 2).

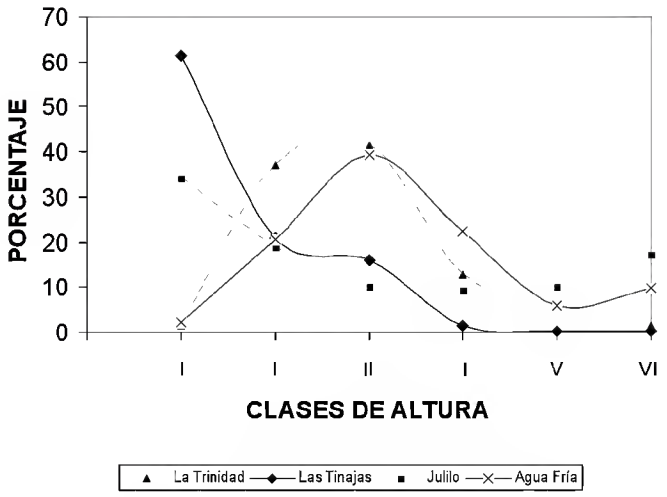

Figura 2. Comportamiento tipo de curvas por clases de altura de *Taxus globosa*.

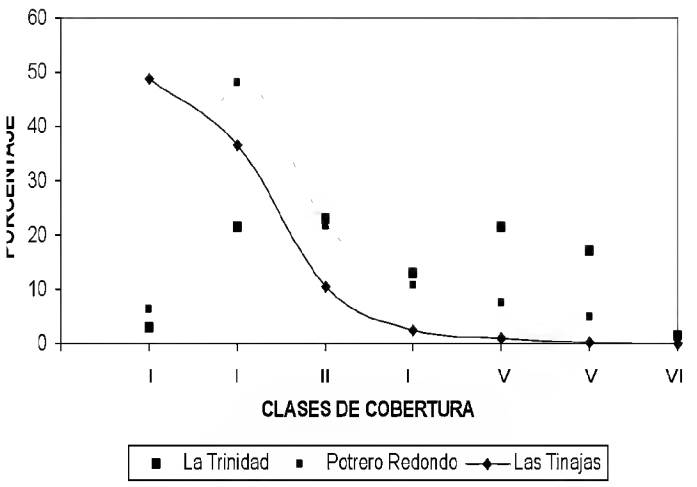

Figura 3. Comportamiento tipo de curvas por clases de cobertura de *Taxus globosa.*

Cobertura aérea

La población con mayor cobertura aérea promedio por individuo de *Taxus globosa* es El Arroyo de Las Cuevas, mientras que la menor cobertura aérea promedio se presentó en el Ej. La Camotera (Tabla 5).

En los valores porcentuales de cobertura se observó una tendencia expresada en tres tipos de curva: *1.* Donde la curva es de tipo descendente, pues predominan los porcentajes de las clases iniciales I a II y los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales III a VI, como el caso de Las Tinajas (Figura 3). *2.* Donde los valores porcentuales de la clase I son menores a la clase II, posteriormente, los valores porcentuales van disminuyendo de manera gradual hacia las clases III a VI como en las poblaciones de Brecha de Zaragoza, El Tejocote, Potrero Redondo (Figura 3), El Arroyo de las Cuevas, Curva de la Raíz, Agua Fría y El Rancho, y *3.* Donde la curva es de tipo bimodal pues presenta pocos individuos en la clase I y tiene los valores porcentuales más bajos en la intermedia clase IV menores a los de la clase V y termina disminuyendo de manera gradual hacia las clases VI – VII en la población de La Trinidad (Figura 3).

Diámetro

La población que presenta el diámetro promedio mayor es La Trinidad, mientras que en la población de Las Tinajas se presenta el diámetro promedio menor entre las once poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste (Tabla 5).

La tendencia observada en la variable diámetro mostró tres tipos de curva: *1.* Una curva descendente gradual, donde predominan los porcentajes de las clases iniciales I y los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales II hasta VI, como el caso de El Tejocote, Potrero Redondo, El Arroyo de Las Cuevas, Curva de La Raíz (Figura 4) y Agua Fría. *2.* Con una curva descendente, donde los valores porcentuales de la clase I son altos en comparación con los valores porcentuales en las clases II hasta VII donde disminuyen fuertemente como en las poblaciones de Brecha de Zaragoza, Las Tinajas, El Rancho, Ej. La Camotera (Figura 4) y Julilo, y *3.* Donde la clase I tiene un menor porcentaje de individuos que la clase II, posteriormente los valores porcentuales van disminuyendo gradualmente de las clases III hasta VII como en la población de La Trinidad (Figura 4).

Tabla 5. Cálculos de Media (μ), Error Típico de la Media (ETM) de las variables altura, diámetro y cobertura aérea en individuos de 11 poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste de México.

Población	N	μ Altura (m)	ETM (m)	μ Diámetro (cm)	ETM (cm)	μ Cobertura (m2)	ETM (m2)
El Tejocote, Santiago, N.L.	91	3,42	0,14	5,63	0,36	14,13	1,36
Potrero Redondo, Santiago, N.L.	3460	2,95	0,03	5,65	0,12	14,46	0,35
El Arroyo de las Cuevas, Santiago, N.L.	540	3,50	0,05	10,93	0,23	30,34	3,73
Curva de la Raíz, Santiago, N.L.	1000	3,57	0,10	9,93	0,26	25,08	0,88
El Rancho, Santiago, N.L.	59	3,11	0,18	5,26	0,34	11,43	0,97
Ej. La Camotera, Santiago, N.L.	203	2,01	0,12	3,60	0,35	6,01	0,77
La Trinidad, Montemorelos, N.L.	70	4,85	0,23	12,94	1,01	30,02	2,93
Agua Fría, Aramberri, N.L.	273	6,83	0,29	11,81	0,46	20,06	1,13
Brecha de Zaragoza, Nuevo León	148	3,31	0,11	4,18	0,24	7,84	0,85
Las Tinajas, Zaragoza, N.L.	3035	2,31	0,09	2,93	0,40	14,06	3,88
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	5,45	0,31	9,33	0,72	14,15	1,30

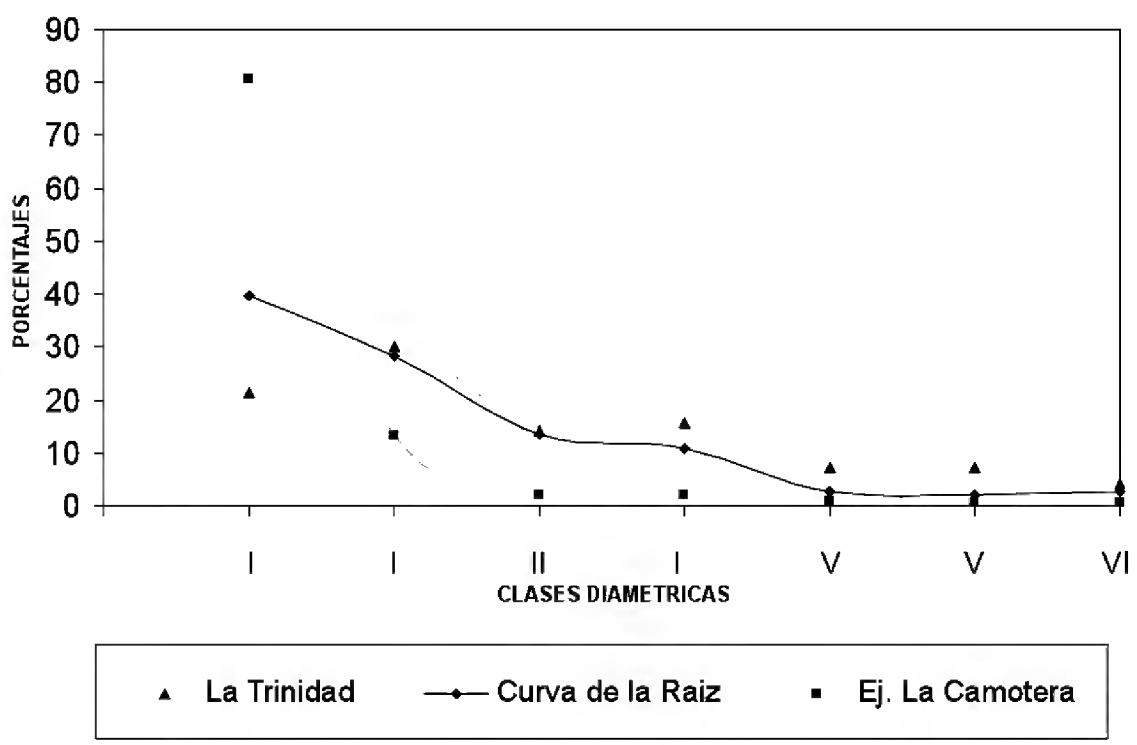

Figura 4. Comportamiento tipos de curvas por clases de diámetro de *Taxus globosa*.

Tabla 6. Densidad de *Taxus globosa* en 11 poblaciones del Noreste de México.

Población	Núm. de individuos por población	Superficie (ha)	Densidad (Ind/ha)
El Tejocote, Santiago N. L.	91	4,11	22,13
Potrero Redondo Santiago, N. L.	3 460	96,72	35,77
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	1 000	57,16	17,49
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	1 000	43,14	23,18
El Rancho, Santiago N. L.	59	10,86	5,43
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	203	17,89	11,35
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	70	12,48	5,61
Agua Fría, Arramberi N. L.	273	20,71	13,18
Brecha de Zaragoza, N. L.	148	9,07	16,32
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3 035	76,24	39,81
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	16,14	14,68
TOTAL	9 576	364,52	26,27

Densidad

La tabla 6 presenta los valores de superficie muestreada, número total de individuos y densidad de individuos en las 11 poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste de México. Las poblaciones más extensas en superficie y con mayor densidad fueron Potrero Redondo con 96,72 hectáreas y 35,77 individuos por hectárea y Las Tinajas con 76,24 hectáreas y 39,81 individuos por hectárea. Mientras que las poblaciones menores en superficie y densidad fueron El Rancho con una superficie de 10,86 ha y densidad de 5,43 individuos por hectárea y La Trinidad con una superficie de 12,48 ha y densidad de 5,61 individuos por hectárea. El Tejocote fue la población más pequeña en superficie con 4,11 ha pero que tiene una densidad cercana al promedio con 22,13 individuos por hectárea.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como parte del sotobosque, las poblaciones de *Taxus globosa* presentan coberturas homogéneas en el gradiente altitudinal y latitudinal estudiado. En términos de densidad de individuos, aquellas áreas más aisladas, alejadas de asentamientos humanos (Potrero Redondo y Las Tinajas) y con menor impacto antropogénico directo (tala furtiva) o indirecta (manejo de ganado vacuno y caprino) ostentan una mayor densidad de individuos. Las áreas Julilo y La Camotera, aunque no poseen una gran densidad como las dos anteriores poblaciones de *Taxus*, presentan una proporción mayor de individuos juveniles que de adultos, Julilo se encuentra cercada, lo cual impide el acceso de ganado, lo que ha evitado que los individuos jóvenes sean consumidos o pisoteados; mientras que La Camotera posee

un relieve escarpado, con pendientes pronunciadas, suelos pedregosos, lo que también impide el acceso de ganado a esta área. Una alta concentración por hectárea de plántulas es indicativo de estabilidad y durabilidad de la población de la especie (Boratynski *et al.*, 2001; Iszculo *et al.*, 2005). Las poblaciones de *Taxus* en El Rancho y La Trinidad son las más pequeñas en extensión y poseen en promedio una menor densidad de *Taxus globosa*, ambas áreas presentan un alto impacto antropogénico, lo cual puede interpretarse como un indicador del disturbio en relación con la densidad promedio registrada para esta especie.

De acuerdo con la Sedesol (1994), *Taxus globosa* está catalogada en México como especie "rara" dado que sus poblaciones son viables biológicamente, aunque se presenta en escasas cantidades en su medio natural con áreas de distribución restringida y en hábitat particulares. Con base en esto, se confirma el estatus de este taxón para el estado de Nuevo León, con escasas localidades donde ocurre, áreas relativamente aisladas y especialmente en condiciones particulares de relieve, suelo y climatología. Desde el punto de vista médico, varias especies de *Taxus* han sido estudiadas respecto a sus compuestos químicos para el tratamiento de diversas enfermedades de cáncer (Wheeler y Henhen, 1993; Shemluck *et al.*, 2003), esto ha permitido una explotación comercial de varias especies en América, especialmente en Canadá y Estados Unidos, donde la venta del pseudoalcaloide (taxol) extraído de esta planta alcanza los $3 000 millones de dólares en Estados Unidos (Shemluck *et al.*, 2003). *Taxus globosa* presenta mayores concentraciones de taxol que todas las especies americanas (Shemluck *et al.*, 2003), sin embargo, es la especie con distribución más restringida y la que menor superficie ocupa. Esta panorámica del tejo mexicano puede ser considerada para llevar a cabo más investigación en el aspecto de sus compuestos químicos como un medio para cura de ciertas enfermedades cancerosas, sin afectar las poblaciones actuales, pues la extracción del taxol implica corta de hojas, ramas, ramillas y corteza del árbol, lo que resulta en su muerte; lo recomendable sería realizar pruebas preliminares con podas o reproducción vegetativa en invernadero para observar su desarrollo y cuantificar si hay variantes en la producción y concentración de los compuestos químicos que se pretenden aislar.

Por su dureza y durabilidad, la madera de *Taxus globosa* se utiliza regionalmente como leña, en postes para cerca y especialmente para columnas para sostener paredes de casas rurales; en el aspecto religioso, en semana santa se confeccionan ramos de muertos con hojas y ramas de esta planta; estos usos no han tenido un impacto dramático en las poblaciones de *Taxus* del noreste de México, pues muchos de ellos conocen la especie y saben que está protegida, con lo cual su permanencia, al menos por el momento, se puede garantizar.

REFERENCIAS

Alanís G., C.G. Velazco, R. Foroughbakhch, V. Valdez y M. A. Alvarado. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. Ciencia UANL. (7)2:209-218.

Boratynski A., Y. Didukh y M. Lucak. 2001. The yew (*Taxus baccata* L.) population in Knyazhdvir Nature Reserve in the Carpathians (Ukraine). Dendrobiology (46):3-8.

Contreras M.R. e I. Luna. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schlecht. (TAXACEAE) en el estado de Chiapas, México. Polibotánica (12):51-55.

Dovčiak M. 2002. Population dynamics of the endangered English yew (*Taxus baccata* L.) and its management implications for biosphere reserves of the Western Carpathians. MAB Secretaria. Division of Ecological Sciences, UNESCO. 22 p.

Estrada, E., C.G. Salazar, J.A. Villarreal, J.P. García y M.A. González. 2006. Cuantificación de *Taxus globosa* en el Noreste de México. The Southwestern Naturalist. 53rd. Annual meeting abstracts. Colima, Colima, México. pp. 136-137.

García S., F. y P. Castillo. 1999. Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schlecht. en las Mesas de San Isidro, municipio de Ríoverde, San Luis Potosí. BIOTAM. (11)3:11-18.

Iszkuło, G., A. Boratyńsky, Y. Didukh, K. Romaschenko, y N. Pryazhko. 2005. Changes of population structure of *Taxus baccata* l. during 25 years in protected area (Carpathians, Western Ukraine). Polish Journal of Ecology 53(1):13-23.

Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. The Blackburn Press Caldwell New Jersey, USA. 547 p.

Sedesol. 1994. "Norma Oficial Mexicana NOM-59-ECOL-1994, que determina las especies de flora y fauna silvestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección". Diario Oficial de la Federación 488:2-59. México.

Shemluck, M.J., E. Estrada, R. Nicholson y S.W. Brost. 2003. A preliminary study of the taxane chemistry and natural history of the Mexican yew, *Taxus globosa* Schltdl. Bol. Soc. Bot. Mex. 72:119-127.

Soto H., M., M. Sanjurjo, T. González, D. Cruz y F. Giral. 2005. El tejo mexicano (*Taxus globosa* Schltdl.). Potencial de su aprovechamiento en taxol. Ciencia 7(3):277-279.

Spjut, R.W. 2007. Taxonomy and nomenclature of *Taxus* (TAXACEAE). J. Bot. Res. Inst. Texas 1(1):203-289.

Wheeler, N.C. y M.T. Henhen. 1993. Taxol, a study in technology commercialization. Journal of Forestry 91(10):15-18.

Zamudio, S. 1992. Familia Taxaceae. En: Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. 9:1-7.

Zavala-Chávez, F. 2002. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht. en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. II: Población de juveniles y algunos datos de semillas. Ciencia 9(2):177-183.

Zavala-Chávez, F., M. Soto-Hernández y T. Rodríguez-González. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. Chapingo Serie Horticultura 7(1):77-94.

Manuscrito recibido el 3 de septiembre de 2009
Aceptado el 03 de febrero de 2011

Este documento se debe citar como: García-Aranda, M. A., A. E. Estrada-Castillón, E. Jurado-Ybarra y D.U. González-Uribe. 2011. Análisis de once poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 17(1):93-104.

MADERA Y BOSQUES Vol. 17 Núm. 1
Se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 2011
en los talleres de Editorial Cromocolor S.A. de C.V.
Miravalle 703 Col. Portales C.P. 03570, México, D.F.

La edición consta de 300 ejemplares
más sobrantes para reposición.

Madera y Bosques 17(1), 2011

CONTENIDO

3 **Editorial**

Artículos de investigación

7 Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera
Artemio Carrillo-Parra, František Hapla, Carsten Mai y Fortunato Garza-Ocañas

23 Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán
V.M Interián-Ku, M.A. Borja de la Rosa, J.I. Valdez-Hernández, E. García-Moya, A. Romero-Manzanares y H. Vaquera-Huerta

37 Strength properties and natural durability of Avocado (*Persea americana* Mill.) branch wood
F.J. Fuentes-Talavera, J.A. Silva-Guzmán, R. Rodríguez-Anda, M.G. Lomelí-Ramírez, R. Sanjuán-Dueñas y H.G. Richter

49 Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años
Silvia L. Rebottaro y Daniel A. Cabrelli

71 Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México
Isidro Pérez-Hernández, Susana Ochoa-Gaona, Georgina Vargas-Simón, Manuel Mendoza-Carranza y Noel Antonio González-Valdivia

93 Análisis de once poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental
Mario A. García Aranda, A. Eduardo Estrada-Castillón, Enrique Jurado-Ybarra y Dino U. González-Uribe

Guía de autores